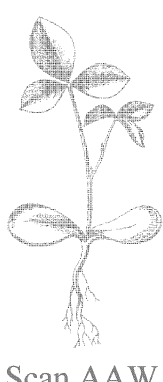

МАССОВАЯ
РАДИО
БИБЛИОТЕКА
Л. М. Капчинский
ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ
АНТЕННЫ
МКЗ

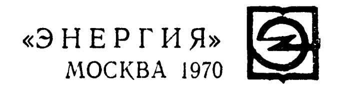
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 755

Л. М. КАПЧИНСКИЙ

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ АНТЕННЫ





«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1970

6Ф3
К 20
УДК 621.396.67

Капчинский Л. М.

К 20 Телевизионные антенны. М., «Энергия», 1970, 112 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека Вып. 735)

В книге приведены описания различных конструкций индивидуальных приемных телевизионных антенн (наружных и комнатных) с объяснением принципа их действия. Рассмотрены способы построения, блок-схемы и узлы телевизионных антенн коллективного пользования для городской и сельской местности Приводятся объяснения основных параметров приемных телевизионных антенн и фидерных линий, описывается децибельная система оценки параметров антенн с приведением расчетных примеров. Рассмотрены особенности распространения метровых и дециметровых волн, передачи и ретрансляции телевизионных сигналов, приема в сильно застроенном городе и в условиях пересеченной местности.

Книга предназначена для широкого круга радиолюбителей и радиомехаников телевизионных ателье.

3-4-5
325-70

6Ф3

Глава 1

ПЕРЕДАЧА И ПРИЕМ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ

Почему телевизионные передачи ведутся на метровых и дециметровых волнах

Спектр электромагнитных волн, используемых для передачи сообщений по радио и называемых радиоволнами, делят в зависимости от длины волны λ на ряд диапазонов. диапазон длинных волн ($\lambda = 10\,000$ *м* $\div$ 1 000 *м*), средних волн ($\lambda = 1\,000$ *м* $\div$ 100 *м*), коротких волн ($\lambda = 100$ *м* $\div$ 10 *м*) и ультракоротких волн ($\lambda = 10$ *м* $\div$ 1 *мм*). Диапазон ультракоротких волн в свою очередь разбивают на несколько поддиапазонов. метровых волн ($\lambda = 10$ *м* $\div$ 1 *м*), дециметровых волн ($\lambda = 1$ *м* $\div$ 10 *см*), сантиметровых волн ($\lambda = 10$ *см* $\div$ 1 *см*) и миллиметровых волн ($\lambda = 1$ *см* $\div$ 1 *мм*). Разбиение спектра радиоволн на диапазоны и поддиапазоны связано с тем, что отдельным участкам спектра присущи свои характерные методы построения элементов радиоканала (передатчиков, приемников, фидерных линий и антенн). На границе между диапазонами и поддиапазонами каких-либо резких изменений свойств радиоволн и методов построения элементов радиоканала не происходит. Поэтому границы являются в известной мере условными.

Передача телевизионных сигналов производится на метровых и дециметровых волнах, относящихся к диапазону ультракоротких волн. Возникает вопрос: почему для телевизионного вещания выбраны именно метровые и дециметровые волны, хотя дальность их распространения лишь немногим превышает дальность прямой видимости?

Для того чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим кратко основные характеристики телевизионного радиоканала.

Передача телевизионных сигналов производится по методу амплитудной модуляции, при котором амплитуда высокочастотного сигнала меняется в такт с изменением яркости отдельных участков передаваемого объекта. Частотный спектр амплитудно-модулированного колебания состоит из основной (несущей) частоты и двух боковых полос, одна из которых занимает интервал частот выше несущей частоты (верхняя боковая полоса), другая — ниже несущей частоты (нижняя боковая полоса)

Ширина боковой полосы определяется наивысшей модулирующей частотой. Чем выше эта частота, тем шире и боковые полосы. Наивысшая модулирующая частота зависит от характера передаваемого изображения. При передаче «крупноструктурных» изображений, т. е. таких изображений, которые состоят из светлых и темных

участков больших размеров, наивысшая модулирующая частота относительно невелика Реальное изображение является обычно «мелкоструктурным» и состоит из большого числа элементов различной яркости. Когда передается такое изображение, наивысшая модулирующая частота становится весьма высокой и достигает при установленном в нашей стране стандарте разложения на 625 строк величины 5—6 *Мгц*. Следовательно, ширина каждой боковой полосы частот равна 5—6 *Мгц*, а общая полоса частот, занимаемых высокочастотным сигналом изображения, должна составлять примерно 12 *Мгц*

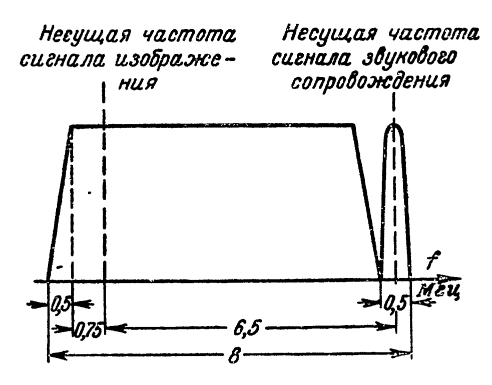


Рис. 1. Частотная характеристика телевизионного канала.

Если учесть, что передача сигналов звукового сопровождения производится в том же канале, то результирующая полоса частот телевизионного канала должна быть еще шире

В действительности, однако, телевизионный канал занимает несколько меньшую полосу частот, так как в целях экономии «места в эфире» и упрощения телевизионного приемника передача сигналов изображения производится с частично подавленной нижней боковой полосой. С учетом этого обстоятельства результирующая ширина телевизионного канала принята равной 8 *Мгц*. На рис 1 показана частотная характеристика телевизионного канала. Как видно из рисунка, разнос между несущими частотами сигналов изображения и звукового сопровождения составляет 6,5 *Мгц*, остаток нижней боковой полосы (слева от несущей изображения) равен 1,25 *Мгц*, ширина канала звукового сопровождения (с частотной модуляцией) равна 0,5 *Мгц*

Таким образом, для передачи телевизионного сигнала нужна очень широкая полоса частот. Для того чтобы судить, насколько широка эта полоса, укажем, что в ней можно разместить по крайней мере 400—500 радиовещательных станций с амплитудной модуляцией

Рассмотрим, какие диапазоны волн могут быть использованы для передачи сигналов со столь широкой полосой частот.

Длинные и средние волны для этой цели принципиально непригодны, так как вся полоса частот, занимаемая диапазонами длинных

и средних волн (от 30 *кгц* до 3 *Мгц*), меньше полосы частот одного телевизионного канала.

Диапазон коротких волн по двум причинам также не может быть использован для передачи телевизионных сигналов. Первая из них состоит в том, что диапазон имеет недостаточную «вместимость». В полосе частот, занимаемой короткими волнами (от 3 до 30 *Мгц*), можно разместить максимум один-два телевизионных канала. Вторая причина связана с особенностями распространения коротких волн. Известно, что земля окружена расположенной на большой высоте оболочкой ионизированного газа (ионосферой), состоящей из ионов и свободных электронов, которые образовались в результате воздействия солнечной радиации и космических лучей. Нижняя граница ионосферы лежит на высоте 80—100 *км*, верхняя — на высоте 350—400 *км*. Ионосфера обладает способностью отражать коротковолновое излучение. Поэтому короткие волны, последовательно отражаясь от ионосферы и земли, могут распространяться на очень большие расстояния. При этом волны различных частот в процессе отражения от ионосферы проникают в нее на различную глубину и проходят, следовательно, на трассе «земля — ионосфера — земля» не одинаковые расстояния. Отсюда следует, что если использовать короткие волны для передачи телевизионного сигнала, то отдельные составляющие его частотного спектра будут приходить в точку приема со сдвигом во времени. В результате этого телевизионный сигнал будет претерпевать значительные искажения. Поскольку состояние ионосферы непрерывно меняется, то искажения телевизионного сигнала, передаваемого на коротких волнах, будут носить нерегулярный (случайный) характер. В связи с этим их корректировка практически невозможна.

Наиболее подходящим диапазоном для передачи телевизионных сигналов является диапазон ультракоротких волн, так как в этом диапазоне можно разместить большое число телевизионных каналов

Если сравнить между собой входящие в ультракоротковолновый диапазон метровые, дециметровые и сантиметровые волны, то предпочтение по ряду причин следует отдать метровым и дециметровым волнам. Дальность распространения метровых и дециметровых волн почти не зависит от метеорологических условий, в то время как сантиметровые волны испытывают значительное затухание в дожде и тумане. Так, например, сигнал, передаваемый на волне $\lambda = 3$ *см*, испытывает при сильном дожде (интенсивность осадков 15 *мм/ч*) на трассе длиной 50 *км* дополнительное затухание около 15 *дб*, что соответствует уменьшению напряженности поля в 5—6 раз В этих же условиях напряженность поля на метровых и дециметровых волнах остается практически той же, что и при отсутствии дождя Метровые и дециметровые волны предпочтительнее также в связи с тем, что на этих волнах проще решается задача создания мощных передающих устройств. Современные телевизионные центры оснащаются радиопередатчиками мощностью в несколько десятков киловатт Получить такую мощность в режиме непрерывного излучения на метровых и дециметровых волнах легче, чем на сантиметровых

Недостатком метровых и дециметровых волн, как и всех волн ультракоротковолнового диапазона, является ограниченная дальность их распространения Радиус действия современного телевизионного центра, оборудованного мощным радиопередатчиком и передающей антенной, поднятой на несколько сот метров, не превышает обычно 100—150 *км*. Однако в настоящее время существуют эффективные

методы, позволяющие значительно расширить зону действия телевизионного центра и охватить телевизионным вещанием большие площади, в том числе районы со сложным рельефом местности. Об этих методах будет рассказано далее.

На метровых волнах согласно телевизионному стандарту СССР размещено 12 телевизионных каналов — каналы с 1-го по 5-й на волнах длиной от 6,2 до 3 *м* (48,5—100 *Мгц*) и с 6-го по 12-й на волнах длиной от 1,72 до 1,3 *м* (174—230 *Мгц*). Частоты телевизионных каналов метровых волн указаны в табл. 1.

Таблица 1

Телевизионные каналы метровых волн

Номер канала	Полоса частот, *Мгц*	Несущая частота изображения, *Мгц*	Несущая частота звукового сопровождения, *Мгц*	Средняя частота, *Мгц*
1	48,5—56,5	49,75	56,25	52,5
2	58—66	59,25	65,75	62
3	76—84	77,25	83,75	80
4	84—92	85,25	91,75	88
5	92—100	93,25	99,75	96
6	174—182	175,25	181,75	178
7	182—190	183,25	189,75	186
8	190—198	191,25	197,75	194
9	198—206	199,25	205,75	202
10	206—214	207,25	213,75	210
11	214—222	215,25	221,75	218
12	222—230	223,25	229,75	226

На дециметровых волнах размещено 20 телевизионных каналов с номерами от 21 по 40, которым соответствуют длины волн от 0,64 до 0,48 *м* (470—630 *Мгц*).

При многопрограммном телевизионном вещании смежные по частотам каналы не используются во избежание помех, которые могут иметь место при неточной настройке гетеродина телевизионного приемника.

Особенности распространения метровых и дециметровых волн

Распространение радиоволн из пункта передачи в пункт приема может происходить как в непосредственной близости к земной поверхности (п о в е р х н о с т н ы е р а д и о в о л н ы), так и путем многократных отражений от земли и от ионосферы — слоя заряженных частиц, окружающих землю на большой высоте (п р о с т р а н с т в е н н ы е р а д и о в о л н ы). Дальность распространения пространственных радиоволн измеряется тысячами и десятками тысяч километров; поверхностные радиоволны распространяются на значительно меньшие расстояния. Траектории распространения пространственных и поверхностных радиоволн показаны на рис. 2.

В виде пространственных радиоволн распространяются только те радиоволны, которые могут отражаться от ионосферы. Способность

радиоволн отражаться от ионосферы определяется соотношением между частотой радиоволны f и некоторой граничной, или, как ее называют, критической частотой $f_{кр}$, которая зависит от состояния ионосферы, т. е. от концентрации свободных электронов в единице объема ионосферы. Если частота радиоволны, излученной передающей антенной, меньше критической ($f<f_{кр}$), то радиоволна отражается от ионосферы; если частота больше критической ($f>f_{кр}$), то радиоволна обратно к земле не отражается, а только преломляется, т. е меняет направление распространения и затем уходит в мировое пространство. Критическая частота не является величиной строго постоянной. Она меняется в зависимости от времени суток, времени года, фазы 11-летнего периода солнечной активности. В среднем

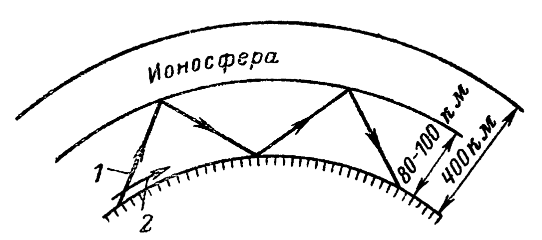


Рис. 2. Траектории распространения радиоволн.
1 — пространственная волна; *2* — поверхностная волна

за 11-летний период солнечной активности концентрация свободных электронов в ионосфере такова, что ее критическая частота составляет примерно 30 *Мгц* (критическая длина волны $\lambda_{кр}=10$ *м*). Таким образом, отражаться от ионосферы могут только длинные, средние и короткие волны, которым соответствуют частоты менее 30 *Мгц* (длины волн более 10 *м*). Ультракороткие волны имеют частоты более 30 *Мгц* и от ионосферы отражаться не могут. Следовательно, если для длинных, средних и коротких волн ионосфера служит отражающим экраном, который возвращает падающие на него радиоволны обратно на землю, то для ультракоротких волн ионосфера прозрачна. Отсюда вытекает, что ультракороткие волны, в том числе метровые и дециметровые, на которых ведутся телевизионные передачи, в виде пространственных волн распространяться, как правило, не могут.

Основную роль в процессе распространения ультракоротких волн играют поверхностные волны. Дальность распространения поверхностных волн определяется двумя важными физическими явлениями — дифракцией (заход радиоволн в область геометрической тени за горизонтом) и рефракцией (искривление траектории радиоволны за счет ее преломления в атмосфере). Поскольку в свободном пространстве радиоволны, так же как и лучи света, распространяются по строго прямолинейным траекториям, то при отсутствии дифракции и рефракции предельная дальность приема телевизионных передач определялась бы дальностью геометрической видимости между передающей и приемной антеннами (рис. 3), т. е. суммой расстояний от передающей и приемной антенн до линии горизонта. Явления дифракции и рефракции приводят к тому, что фактическая

дальность приема несколько превышает дальность геометрической видимости.

Рассмотрим сначала влияние дифракции на дальность распространения метровых и дециметровых волн. Сущность явления дифракции состоит в том, что радиоволны могут огибать земную поверхность, следуя ее кривизне. Дифракция проявляется в той или иной мере во всех диапазонах волн. В наибольшей степени она выражена на длинных и средних волнах, которые хорошо огибают земную поверхность, распространяясь за пределы геометрической видимости на сотни километров. Способность коротких волн к дифракции проявляется в меньшей степени. На метровых и дециметровых волнах дифракция сказывается еще слабее. Тем не менее явление дифракции метровых и дециметровых волн приводит к некоторому увеличению дальности приема телевизионных передач.



Рис. 3. Дальность геометрической видимости

h_1 и h_2 — высоты приемной и передающей антенн над уровнем моря.

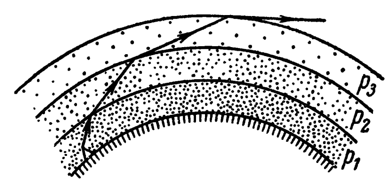


Рис. 4. Преломление поверхностных радиоволн в атмосфере.

p_1, p_2, p_3 — плотность воздуха на различных высотах ($p_3<p_2<p_1$).

Более существенным фактором, определяющим способность метровых и дециметровых волн распространяться за пределы геометрической видимости, является рефракция, которая состоит в искривлении траектории поверхностной радиоволны за счет ее преломления в атмосфере.

Явление рефракции состоит в следующем. Известно, что с увеличением высоты плотность атмосферы уменьшается; она становится все более и более разреженной. Можно условно представить себе, что атмосфера состоит из нескольких сферических слоев с убывающей от слоя к слою плотностью. Радиоволна, излученная передающей антенной горизонтально или под некоторым углом к горизонту, попадает из слоя с большей плотностью воздуха в слой с меньшей плотностью. При этом радиоволна преломляется, т. е. изменяет траекторию, подобно тому, как это происходит со световым лучом при его переходе из среды оптически более плотной в менее плотную, например из воды в воздух. Преломленная радиоволна, имеющая более пологую траекторию, чем первоначально излученная, переходя в следующий слой атмосферы с еще меньшей плотностью повторно преломляется и т. д. В результате многократных преломлений траектория радиоволны в атмосфере будет иметь вид ломаной линии, как показано на рис. 4.

В действительности убывание плотности воздуха по мере увеличения высоты происходит не скачками, а плавно. Поэтому реальная траектория радиоволны в атмосфере представляет собой плавно изогнутую линию, обращенную выпуклостью вверх. При некотором «среднем» или, как его называют, нормальном состоянии атмосферы (температура воздуха на уровне моря +15° С, убывание температуры с высотой —0,65° С на 100 метров, убывание давления —

по барометрической формуле, влажность не зависит от высоты) радиус дуги окружности, по которой движется радиоволна, примерно в 5 раз превышает радиус земного шара. Дальность распространения радиоволны увеличивается при этих условиях примерно на 15—20% по сравнению с дальностью геометрической видимости

Рефракцию радиоволн, которая имеет место в нормальной атмосфере с указанными выше свойствами, называют нормальной рефракцией.

Для упрощения расчетов, связанных с определением дальности распространения ультракоротких радиоволн, в том числе метровых и дециметровых, при нормальной рефракции, пользуются искусственным приемом, смысл которого состоит в следующем Предположим, что преломление радиоволн в атмосфере отсутствует и поверхностная волна распространяется над землей не по искривленной, а по прямолинейной траектории, как показано на рис. 3. Из простых соображений следует, что чем больший радиус имела бы земля, тем больше была бы и дальность геометрического горизонта при тех же высотах приемной и передающей антенн h_1 и h_2. Воспользуемся этим обстоятельством и будем условно считать, что распространение поверхностной волны над землей происходит по прямолинейной траектории, а дальность распространения возрастает не за счет преломления волны в атмосфере, а за счет некоторого увеличения радиуса земли по сравнению с ее действительным радиусом Расчеты показывают, что этот условный или «эквивалентный» радиус земли должен быть больше действительного примерно на 30%. Дальность геометрической видимости над землей с «эквивалентным» радиусом чаще называют дальностью прямой видимости с учетом нормальной рефракции радиоволн в атмосфере или просто дальностью прямой видимости.

Дальность прямой видимости в километрах можно рассчитать в зависимости от высот приемной и передающей антенн над уровнем моря h_1 и h_2 в метрах по следующей формуле:

$$R\,(км) = 4{,}1\left(\sqrt{h_1\,(м)} + \sqrt{h_2\,(м)}\right).$$

В табл. 2 указана дальность прямой видимости, рассчитанная по этой формуле для нескольких значений высот приемной и передающей антенн.

Приведенные в таблице дальности могут служить для ориентировочной оценки границ зоны уверенного приема сигналов телевизионных центров. Эта зона характеризуется стабильным уровнем сигнала, который достаточен для получения высококачественного изображения на экране телевизионного приемника. На расстояниях, превышающих дальность прямой видимости, т. е. в области тени, создаваемой кривизной земли, уровень сигнала уменьшается довольно быстро. Прием в области тени обычно неустойчив, изображение в связи с недостаточным уровнем сигнала сопровождается значительными шумами. Однако в ряде случаев при большой мощности передатчика, благоприятном рельефе местности (отсутствии затеняющих складок и т. д.) и использовании антенн с большой направленностью можно получить устойчивое изображение с удовлетворительным качеством и в области тени на расстояниях, превышающих дальность прямой видимости на 20—30%.

Таблица 2

Дальность прямой видимости в зависимости от высот приемной и передающей антенн с учетом нормальной рефракции радиоволн в атмосфере

Высоты антенн: приемной h_1, *м*	Высоты антенн: передающей h_2, *м*	Дальность прямой видимости R, *км*	Высоты антенн: приемной h_1, *м*	Высоты антенн: передающей h_2, *м*	Дальность прямой видимости R, *км*	Высоты антенн: приемной h_1, *м*	Высоты антенн: передающей h_2, *м*	Дальность прямой видимости R, *км*
20	100	60	50	100	70	100	100	82
	150	70		150	80		150	92
	200	77		200	88		200	100
	250	83		250	94		250	106
	300	90		300	100		300	112
	350	95		350	106		350	118
	400	100		400	112		400	123
	450	105		450	117		450	128
	500	110		500	122		500	132
	550	115		550	127		550	137

Почему возможны случаи дальнего приема

В практике радиолюбителей, занимающихся дальним приемом, изредка встречаются случаи приема телевизионных сигналов на расстояниях, в несколько раз превышающих дальность прямой видимости с учетом нормальной рефракции радиоволн в атмосфере. Такие случаи возможны при некоторых особых состояниях атмосферы и ионосферы, резко отличающихся от обычных. Рассмотрим те условия, которые способствуют распространению ультракоротких радиоволн, в частности метровых и дециметровых, на необычно большие расстояния.

Суперрефракция и атмосферные волноводы. При нормальном состоянии атмосферы плотность воздуха медленно убывает с высотой. При этом происходит, как ранее указывалось, нормальная атмосферная рефракция, характеризующаяся тем, что траектория поверхностной волны несколько изгибается и дальность ее распространения возрастает на 20—30% по сравнению с дальностью геометрической

видимости. Возможно, однако, такое состояние атмосферы, когда плотность воздуха убывает с высотой значительно быстрее, чем в нормальной атмосфере. Кривизна поверхностной волны увеличивается, и, описав в атмосфере дугу, волна возвращается на землю. Отразившись от земли, поверхностная волна повторно проходит по криволинейной траектории и т д. Образуется своеобразный **атмосферный волновод** (рис. 5), по которому поверхностная волна может распространяться на расстояния, значительно превышающие дальность распространения при нормальной рефракции. Явление повышенного преломления поверхностной волны в атмосфере, приводящее к образованию атмосферного волновода, называют **суперрефракцией**.



Рис. 5. Атмосферный волновод.

Рассмотрим, какие процессы в атмосфере могут приводить к суперрефракции. Для возникновения суперрефракции необходимо, чтобы плотность воздуха уменьшалась с высотой быстрее, чем в нормальной атмосфере. Это может происходить при следующих условиях. Известно, что плотность теплого воздуха меньше, чем холодного. Поэтому если с высотой температура воздуха будет увеличиваться, а не уменьшаться, как в нормальной атмосфере, то его плотность будет падать очень быстро Таким образом, возникновению суперрефракции способствует так называемая **инверсия** (обратный ход) температуры воздуха.

Инверсия температуры может иметь место летом в ясную погоду над сушей В течение жаркого дня земная поверхность сильно нагревается. С наступлением вечера она начинает интенсивно охлаждаться, отдавая накопленное за день тепло в окружающее пространство Температура воздуха, непосредственно примыкающего к земной поверхности, также сильно уменьшается, а температура воздуха на большой высоте остается почти без изменения. В результате этого в ночное время температура воздуха с увеличением высоты может возрастать. Возникает инверсия температуры. С наступлением дня земная поверхность начинает снова прогреваться, соответственно прогревается прилегающий к ней слой воздуха и инверсия температуры пропадает. Вместе с этим пропадают условия для суперрефракции. Инверсия температуры может появиться также в районе антициклона (область устойчивого повышенного атмосферного давления), когда из верхних слоев атмосферы вниз опускается холодный воздух. В нисходящем потоке воздух постепенно сжимается, так как, опускаясь, он попадает в области все более высокого давления. При сжатии происходит нагрев воздуха, и он может стать на некоторой высоте теплее, чем в приземном слое.

Условия, способствующие возникновению инверсии температуры, а следовательно, и суперрефракции, могут возникнуть в жаркие дни над морями. Поверхность суши на побережье нагревается в жаркий день сильнее, чем поверхность моря, так как на суше нагревается только тонкий поверхностный слой, а в морской воде, благодаря ее перемешиванию, тепло распространяется на большую глубину. Кроме того, почва имеет меньшую теплоемкость, что также способствует

ее более интенсивному прогреву. Воздух, непосредственно прилегающий к поверхности суши, также нагревается, плотность его уменьшается и он начинает подниматься вверх. У поверхности суши возникает область пониженного давления, куда устремляется прохладный воздух с моря (морской бриз). В то же время нагретый воздух перемещается с суши в сторону моря и нижние его слои, входя в соприкосновение с морской поверхностью, охлаждаются. Результатом такой циркуляции воздуха является появление над морем инверсии температуры, которая может привести к суперрефракции поверхностной волны и образованию атмосферного волновода. Над морем одновременно с инверсией температуры происходит увлажнение нижних слоев воздуха за счет интенсивного испарения воды, что усиливает суперрефракцию.

Можно, таким образом, считать, что условия, благоприятствующие суперрефракции, чаще всего возникают летом в ночное время над сушей и в дневное — над морем. Туманная и неустойчивая погода, облачность, дожди не способствуют суперрефракции. При сильных ветрах суперрефракция также обычно не возникает, так как перемешивание масс воздуха препятствует образованию инверсий температуры и избыточному увлажнению нижних слоев воздуха.

Суперрефракция в различных районах земного шара наблюдается довольно часто Между тем случаи дальнего приема телевизионных передач за счет распространения поверхностных волн по атмосферным волноводам отмечаются крайне редко. Это можно объяснить следующими причинами.

Высота атмосферного волновода, при которой возможно дальнее распространение метровых и дециметровых волн, должна быть около 500—1 000 *м*. Такие высокие волноводы встречаются очень редко и долго не существуют. Чаще возникают волноводы высотой в несколько десятков метров, а наиболее распространенными являются приземные волноводы высотой в несколько метров. Атмосферный волновод высотой в несколько десятков метров способствует существенному увеличению дальности распространения сантиметровых волн; на метровых и дециметровых волнах существование такого волновода может привести лишь к некоторому увеличению напряженности поля по сравнению со случаем нормальной атмосферной рефракции. Приземные волноводы высотой в несколько метров никакого влияния на дальность распространения метровых и дециметровых волн не оказывают.

Рассеяние радиоволн от неоднородностей тропосферы. Другой причиной, которая может приводить к дальнему распространению ультракоротких волн, является рассеяние радиоволн от неоднородностей тропосферы, возникающих вследствие особенностей движения частиц воздуха

Земная поверхность нагревается неравномерно, в связи с чем над землей возникают восходящие и нисходящие потоки воздуха Отдельные частицы движущейся воздушной массы совершают беспорядочные движения, направления и скорости которых отличаются в каждый момент времени от направления и средней скорости воздушной массы в целом Если перемещение воздушной массы происходит в виде ветра из области повышенного давления в область пониженного давления, то и в этом случае движение воздуха является неравномерным; мгновенные скорости в отдельных точках воздушного потока отличны от его средней скорости. Такое движение воздуха называется турбулентным

В результате турбулентного движения воздуха над землей образуются отдельные области, физическое состояние которых (температура, давление, влажность) несколько отличается от состояния остальной массы воздуха. Эти неоднородности называют турбулентными или вихревыми

Когда на турбулентную неоднородность падает радиоволна, то происходит рассеяние электромагнитной энергии по направлению к земле При этом становится возможным кратковременный прием сигналов на расстояниях, во много раз превышающих дальность прямой видимости Для эффективного рассеяния метровых и дециметровых волн от турбулентных неоднородностей в тропосфере нужно, чтобы их размеры были относительно велики и составляли в поперечнике несколько десятков метров. Состояние тропосферы большей частью является неустойчивым и неоднородности таких размеров длительное время существовать не могут. Поэтому дальний прием телевизионных передач за счет рассеяния радиоволн на турбулентных неоднородностях тропосферы возможен лишь в течение небольших периодов времени.

Отражение радиоволн от областей ионосферы с повышенной ионизацией. В обычных условиях, как указывалось ранее, метровые волны не отражаются от ионосферы и распространяться на большие расстояния в виде пространственных волн не могут. Однако иногда степень ионизации отдельных областей ионосферы на высоте 120—130 *км* резко возрастает. Критическая частота этих областей увеличивается и они приобретают способность отражать метровые волны. В литературе имеются указания на то, что в течение коротких промежутков времени от сильно ионизированных областей ионосферы могут отражаться радиоволны с частотами до 80 *Мгц*.

Области ионосферы с повышенной ионизацией расположены над землей значительно выше турбулентных неоднородностей тропосферы. Поэтому дальность распространения метровых радиоволн в случае их отражения от ионосферы получается значительно большей и может достигать нескольких тысяч километров.

Образование в ионосфере областей с повышенной ионизацией обычно связывают с процессами, происходящими при влете метеорных потоков в верхние слои атмосферы

Построение сети телевизионного вещания

Основным способом охвата больших территорий телевизионным вещанием является, как известно, создание крупных телевизионных центров с мощными передатчиками и высоко поднятыми передающими антеннами. Но при этом неизбежно остаются отдельные районы, не охваченные телевизионным вещанием. Это связано, во-первых, с тем, что сеть телевизионных центров не может быть слишком густой, так как число телевизионных каналов ограничено и, если телевизионные центры расположены слишком близко друг к другу, то возможны взаимные помехи приему от телевизионных центров, работающих на одном канале. Во-вторых, в районе с малой плотностью населения строить крупные телевизионные центры нецелесообразно с экономической точки зрения. Кроме того, нужно учесть, что многие районы, находящиеся в пределах зоны действия телевизионного центра, могут быть фактически лишены телевизионного вещания в связи с экранирующим действием складок местности (например, населенные пункты в горных долинах).

Поэтому сеть мощных телевизионных центров дополняют сетью маломощных телевизионных ретрансляторов, которые имеют ограниченный радиус действия и обслуживают районы, лишенные по тем или иным причинам телевизионного вещания. Такая разветвленная сеть представляющая собой комбинацию мощных телевизионных центров и маломощных ретрансляторов, позволяет наи более эффективно решать задачу охвата территории страны телевизионным вещанием.

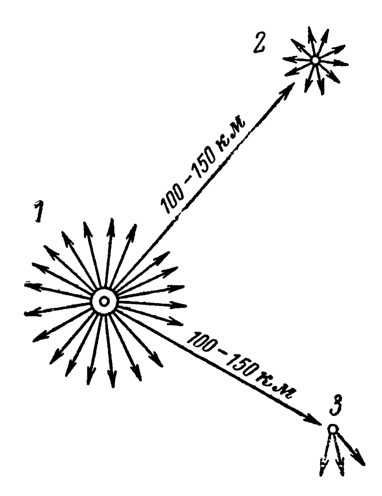


Рис. 6. Примерная схема размещения телевизионных ретрансляторов.

1 — базовый телевизионный центр; 2 — ретранслятор с круговым излучением; 3 — ретранслятор с направленным излучением.

Маломощные ретрансляторы могут строиться на различных принципах. Наиболее простым является ретранслятор-усилитель, состоящий из приемной антенны, усилителя высокой частоты и передающей антенны. Сигналы телевизионного центра, принятые антенной, поступают на вход усилителя и после усиления излучаются передающей антенной Ретрансляция сигналов производится ретранслятором-усилителем без изменения частоты канала.

Ретрансляторы-усилители, несмотря на крайнюю простоту, не получили, однако, широкого распространения в связи с рядом трудностей, возникающих при их использовании. Эти трудности состоят в следующем. Излученная передающей антенной мощность частично попадает через приемную антенну на вход ретранслятора, что может привести при малой развязке между антеннами к его самовозбуждению Даже в том случае, когда поступающая с выхода на вход мощность недостаточна для самовозбуждения, качество излученного сигнала снижается. Для нормальной работы ретранслятора-усилителя необходимо, чтобы развязка между приемной и передающей антеннами превышала коэффициент усиления ретранслятора на 40—50 *дб*

Допустим, что мощность на выходе ретранслятора составляет 1 *вт* При входном сопротивлении передающей антенны, равном 75 *ом*, этой мощности соответствует напряжение на выходе ретранслятора около 9 *в*. Если считать, что напряжение на входе равно 1 *мв*, то коэффициент усиления ретранслятора по напряжению должен составлять 9 000 (79 *дб*). Следовательно, развязка между приемной и передающей антеннами должна быть равна примерно 120 *дб*. Обеспечить на практике такую развязку очень трудно даже при специальном выборе мест установки антенн.

Более широкое распространение получили ретрансляторы-преобразователи, которые осуществляют ретрансляцию со

сменой канала (например, прием программы телевизионного центра — на 1-м канале, передача — на 8-м канале).

Для облегчения требований к развязке между антеннами канал передачи выбирается таким образом, чтобы он не был смежным по частоте с каналом приема. При исключении смежных каналов приема и передачи достаточно иметь развязку между антеннами, равную 30—40 *дб*

Ретранслятор обычно располагают на расстоянии 100—150 *км* от базового телевизионного центра (рис. 6). Между приемной ан-

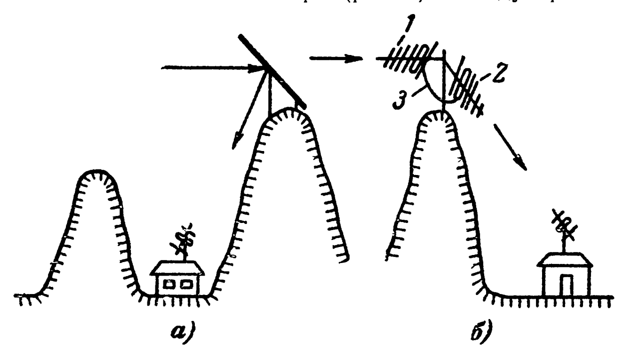


Рис. 7. Пассивные ретрансляторы в горной местности.

а — плоский отражатель, *б* — система из двух направленных антенн.

тенной ретранслятора и передающей антенной телевизионного центра должна быть прямая видимость. Поэтому установку ретрансляторов производят на возвышенных местах, а в случае необходимости используют мачты высотой до 50—100 *м*.

Выбор типа передающей антенны производится с учетом взаимного расположения обслуживаемой территории и места установки ретранслятора. Если ретранслятор находится примерно в центре населенного пункта, то применяется передающая антенна с круговым излучением, равномерно распределяющая мощность во всех направлениях (ретранслятор *2* на рис 6). При установке ретрансляторы на окраине или вне населенного пункта целесообразно сосредоточить излучаемую мощность в пределах некоторого угла, определяемого размерами населенного пункта. С этой целью применяются передающие антенны с направленным излучением (ретранслятор *3* на рис. 6)

Поскольку установка ретрансляторов производится на возвышенных местах, то зона его действия ограничена, как правило, не дальностью прямой видимости, а мощностью на выходе На практике используются в основном ретрансляторы мощностью от 50 *мвт* до 100 *вт*. Дальность действия ретранслятора мощностью 50 *мвт* составляет примерно 3—5 *км*. При мощности 2—3 *вт* дальность возрастает до 10—15 *км*, при мощности 50—100 *вт* — до 25—30 *км*.

Ретрансляторы мощностью от 50 *мвт* до 3 *вт* успешно используются для обслуживания небольших населенных пунктов в горных районах, закрытых складками местности от прямого сигнала телевизионного центра.

Наряду с активными ретрансляторами, описанными выше, в горных районах могут также применяться пассивные, не усиливающие мощность телевизионного сигнала, а только переизлучающие ее в нужном направлении.

Варианты пассивных ретрансляторов показаны на рис. 7. Ретранслятор, изображенный на рис. 7, *а*, представляет собой плоское металлическое зеркало, ориентированное таким образом, что отраженный от него сигнал распространяется в направлении населенного пункта, расположенного в горной долине. Линейные размеры зеркала должны быть не меньше 5—10 длин волн. На метровых волнах они получаются очень громоздкими. Поэтому зеркала выгоднее всего использовать в качестве пассивных ретрансляторов на дециметровых волнах Механические нагрузки, создаваемые ветром, можно уменьшить, если изготовлять зеркала из металлической сетки, которая натягивается на раму из труб или уголков. Другой вариант пассивного ретранслятора показан на рис. 7, *б*. Этот ретранслятор состоит из двух направленных антенн, расположенных под углом друг к другу. Прямой сигнал телевизионного центра, принятый антенной *1*, поступает по короткому отрезку соединительного кабеля *3* на вход антенны *2* и излучается в направлении населенного пункта.

Пассивные ретрансляторы могут быть применены для обслуживания «затененных» районов только при большом уровне прямого телевизионного сигнала В этом отношении они значительно уступают активным ретрансляторам, которые способны работать на границе зоны прямой видимости в области слабого сигнала.

Способы обмена программами между телевизионными центрами

Важной задачей, непосредственно связанной с построением сети телевизионного вещания, является обмен программами между телевизионными центрами и доставка наиболее актуальных и интересных программ в удаленные районы с целью их трансляции через местные телевизионные центры Эти задачи решаются в основном с помощью радиорелейных линий и систем космической связи через искусственные спутники Земли

Радиорелейная линия, предназначенная для двустороннего обмена программами между телевизионными центрами, представляет собой цепочку приемно-передающих пунктов, работающих на сантиметровых волнах. В каждом приемно передающем пункте производится прием сигналов, усиление и передача в направлении следующего пункта, расположенного на трассе радиорелейной линии. Приемно-передающие пункты располагаются один от другого на расстоянии, определяемом дальностью прямой видимости При высоте мачты, на которой установлены антенны, равной 80—100 *м* расстояние между соседними пунктами должно составлять 60—80 *км*

Антенные системы приемника и передатчика аналогичны. Обе они строятся по перископическому принципу, т. е. аналогично хорошо известному оптическому перископу. Каждая антенная система (рис. 8) состоит из двух металлических зеркал (верхнего *1* и нижнего *2*) и рупорного облучателя *3* Верхнее зеркало — плоское, а нижнее представляет собой участок поверхности эллипсоида вращения, в одном фокусе которого находится рупорный облучатель, а в другом — средняя точка верхнего зеркала.

Рассмотрим работу антенной системы приемника. Принимаемый сигнал поступает на верхнее зеркало и отражается от него в направлении нижнего зеркала. Нижнее зеркало фокусирует сигнал в точке расположения рупорного облучателя. Из облучателя сигнал поступает на вход приемника. Антенная система передатчика работает аналогично. Сигнал с выхода передатчика поступает в рупорный облучатель, затем на нижнее зеркало. Отразившись от нижнего зеркала вверх, сигнал поступает на верхнее зеркало, отражается от него и излучается в направлении следующего приемно-передающего пункта.

Применение перископической антенной системы позволяет практически избежать потерь мощности сигнала, которые имели бы место в случае применения длинной кабельной или волноводной линии для связи антенн с приемником и передатчиком. Кроме того, упрощается конструкция и облегчается обслуживание всего антенно-фидерного тракта, так как жесткая кабельная или волноводная линия большой длины требуют герметизации и температурной компенсации. Использование гибких кабелей не представляется возможным, поскольку при длине кабеля 80—100 *м* затухание сигнала на сантиметровых волнах получается весьма большим.

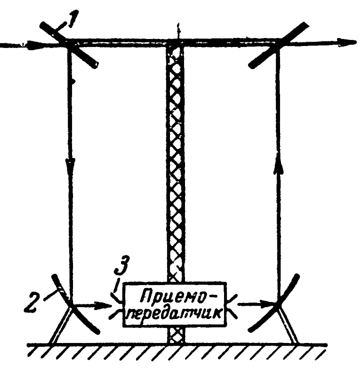


Рис. 8. Антенная система приемо-передающего пункта радиорелейной линии.

Передача программ телевидения по радиорелейным линиям от одного телевизионного центра к другому может производиться в обоих направлениях. При изменении направления передачи происходит соответствующее переключение приемника и передатчика. Кроме того, меняются функции антенных систем: приемная антенна начинает работать в качестве передающей, а передающая — в качестве приемной.

Радиорелейные линии дают возможность не только производить обмен программами между телевизионными центрами, но и организовывать телевизионное вещание в районах, расположенных вдоль трассы линии вблизи промежуточных приемно-передающих пунктов. На отдельных промежуточных пунктах устанавливается аппаратура, которая позволяет выделить из высокочастотного модулированного сигнала сантиметровых волн низкочастотный сигнал изображения (видеосигнал). Этот сигнал подается на маломощный телевизионный ретранслятор, который, в отличие от описанных ранее ретрансляторов, не имеет приемного устройства, а содержит только передатчик с передающей антенной. Высокочастотный сигнал передатчика ретранслятора модулируется видеосигналом и излучается передающей антенной. Ретрансляторы, установленные на промежуточных пунктах радиорелейных линий, работают на метровых волнах на одном из каналов с 1-го по 12-й.

На телевизионные центры, расположенные в районах Крайнего Севера, Сибири, Дальнего Востока доставка программ Центрального

телевидения производится через искусственные спутники Земли с помощью наземных приемных станций системы «Орбита». Программы передаются в эфир либо одновременно с их трансляцией по Центральному телевидению, либо, учитывая разницу в поясном времени, несколько позже в записи на видеомагнитофон.

Прием телевизионных передач в сильно застроенном городе

Распространение ультракоротких радиоволн в сильно застроенном городе, особенно при разноэтажной застройке, является многолучевым, так как радиоволны излученные передающей антенной телевизионного центра, испытывают многократные отражения от крыш и от стен зданий. В точку установки приемной антенны приходят с различных направлений несколько волн — прямая волна от передающей антенны и несколько отраженных волн. Многолучевой прием может приводить в неблагоприятных случаях к специфическим для условий города искажениям телевизионного изображения: появлению на экране ряда сдвинутых друг относительно друга повторных изображений и снижению четкости.

Рассмотрим простейший пример многолучевого распространения (рис. 9), когда в точку установки приемной антенны приходят два луча — прямой и отраженный. Прямой луч распространяется от передающей антенны к приемной по кратчайшему пути *AC*. Отраженный луч проходит более длинный путь *ABC* и попадает в точку установки антенны позже прямого на время Δt, определяемое разностью хода лучей Δl. На экране телевизионного приемника будут два изображения — основное и повторное, соответствующее прямому и отраженному лучам. Допустим, что расстояние *AC* составляет 6 *км*, а *ABC* — 7 *км*. Тогда разность хода лучей будет равна 1 *км*. Поскольку распространение радиоволн происходит со скоростью света (300 000 *км/сек*), то при этой разности хода отраженный луч попадает в точку установки антенны на 3,3 *мксек* позднее прямого. Время, за которое электронный луч кинескопа проходит слева направо одну строку, составляет 56 *мксек*. За 3,3 *мксек* электронный луч сместится примерно на 1/17 строки. Следовательно, повторное изображение будет правее основного на 1/17 длины строки. На экране кинескопа с размером по диагонали 59 *см* (длина строки — 48 *см*) сдвиг между изображениями составит 2,8 *см*.

Передающая антенна телецентра
A
B
C
Прямой луч
Отраженный луч

Рис. 9. Отражение радиоволн от зданий.

В точку установки приемной антенны могут приходить несколько отраженных лучей. В этом случае на экране наблюдается ряд сдвинутых повторных изображений, причем наиболее сильным, как правило, является первое повторное изображение. Интенсивность повторных изображений зависит от высоты здания, на котором установлена антенна, и характера окружающей застройки При установке антенн на открытых зданиях, высота которых превышает некоторый «средний уровень крыш», повторные изображения либо не наблюдаются совсем, либо видны очень слабо и не мешают зрительному восприятию изображения. Самые неблагоприятные условия приема обычно имеют место в зданиях, закрытых от прямого сигнала телевизионного центра. В результате экранировки относительная интенсивность повторных изображений возрастает, и приходится применять специальные меры для их ослабления

Многолучевой характер распространения ультракоротких волн в сильно застроенном городе приводит к явлению интерференции (наложения) прямого и отраженного лучей. В пространстве между зданиями появляются стоячие волны с близко расположенными максимумами и минимумами напряженности поля. Телевизионный сигнал, принятый антенной, находящейся в поле стоячих волн, может испытывать частотные и фазовые искажения, так как максимумы и минимумы напряженности поля на разных частотах спектра телевизионного сигнала оказываются, как правило, сдвинутыми друг относительно друга. Частотные искажения проявляются в снижении четкости изображения, фазовые — в появлении светлых окантовок около темных деталей изображения В редких случаях фазовые искажения приводят к тому, что изображение становится «негативным»: светлые места изображения становятся темными, а темные — светлыми. Нужно отметить, что частотные и фазовые искажения телевизионного сигнала за счет интерференционных явлений при многолучевом распространении проявляются не очень сильно; основным видом искажений являются повторные изображения.

Наиболее эффективным способом борьбы с повторными изображениями является использование направленных антенн и их тщательная ориентировка. Практика показала, что в условиях сильно застроенного города ориентировка антенны точно на телевизионный центр не всегда является оптимальной. Отворачивая антенну в ту или другую сторону от направления на телевизионный центр, иногда удается существенно ослабить повторные изображения. Улучшение качества приема в «затененных» районах города может быть достигнуто также путем выноса антенн на ближайшие высокие здания, с крыш которых имеется прямая видимость на передающую антенну телевизионного центра.

Глава 2

ПАРАМЕТРЫ ПРИЕМНЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ АНТЕНН

Параметры антенн

Приемный телевизионный тракт состоит из приемной антенны с согласующими и симметрирующими устройствами, фидерной линии и телевизионного приемника. Приемная антенна, являющаяся начальным звеном этого тракта, преобразует энергию высокочастотного

электромагнитного поля в энергию токов высокой частоты, которые по фидерной линии поступают на вход телевизионного приемника. С точки зрения расчета приемного телевизионного тракта антенну удобно рассматривать как эквивалентный генератор высокой частоты, электродвижущую силу (э. д с.) и внутреннее сопротивление которого можно определить, зная параметры антенны. Такое представление позволяет построить эквивалентную схему тракта в виде замкнутой цепи, состоящей из генератора высокой частоты с известными э. д. с. и внутренним сопротивлением и сопротивления нагрузки (входное сопротивление фидерной линии). Мощность, отдаваемая антенной в нагрузку, определяется, как и для любого другого генератора, соотношением между внутренним сопротивлением генератора (антенны) и сопротивлением нагрузки В случае, когда внутреннее сопротивление и сопротивление нагрузки являются чисто активными, максимальная мощность поступает в нагрузку при равенстве этих сопротивлений (антенна согласована с фидерной линией).

Свойства приемных телевизионных антенн характеризуются рядом параметров, которые позволяют определить э. д. с. и внутреннее сопротивление, оценить помехозащищенность антенны, правильно выбрать тип фидерной линии, подобрать и рассчитать согласующее устройство и т д К основным параметрам антенны, представляющим наибольший практический интерес, относятся: диаграмма направленности, коэффициент усиления, действующая длина и входное сопротивление.

Необходимо сделать следующее важное замечание, касающееся параметров антенн. Приемная телевизионная антенна является широкополосным устройством, которое должно обеспечить неискаженный прием всего спектра частот телевизионного сигнала. Одноканальные антенны работают в полосе частот 8 *Мгц*. Диапазонные антенны, предназначенные для приема нескольких каналов, работают еще в более широкой полосе частот. Поэтому полное представление о свойствах антенны можно получить только в том случае, если известны ее параметры во всей рабочей полосе частот, т. е. частотные характеристики Например, частотная характеристика коэффициента усиления позволяет судить о том, как меняется э. д. с. на клеммах антенных в полосе частот телевизионного канала, частотная характеристика входного сопротивления определяет изменение отдачи мощности из антенны в фидерную линию и т. д

Рассмотрим хорошо известную радиолюбителям направленную антенну типа «волновой канал», состоящую из активного вибратора, к которому подключена фидерная линия, и нескольких пассивных вибраторов (рефлектора и директоров). Настройка антенн типа «волновой канал» производится путем подбора длин вибраторов и расстояний между ними. Если размеры антенны подобраны так, что на какой-либо одной частоте, например на несущей частоте изображения, она имеет большой коэффициент усиления, а на других частотах телевизионного канала коэффициент усиления резко снижается, то использовать антенну нельзя, так как изображение будет иметь пониженную четкость. Настройку антенны нужно выполнить заново и добиться равномерной частотной характеристики коэффициента усиления, хотя его максимальная величина снизится по сравнению с предыдущим случаем.

Прежде чем перейти к рассмотрению перечисленных выше параметров, остановимся на одном свойстве антенн, которое определяется ориентацией ее элементов и практически от частоты не зависит. Речь

идет о способности антенн принимать горизонтально или вертикально поляризованные волны.

Электромагнитное поле радиоволн характеризуется в каждой точке пространства величиной и направлением напряженности электрического поля **E** и магнитного поля **H**, которые графически изображают в виде направленных отрезков (векторов), расположенных в плоскости, перпендикулярной направлению распространения радиоволны. Длина одного отрезка пропорциональна амплитуде напряженности электрического поля (вектор электрического поля **E**), другого — магнитного поля (вектор магнитного поля **H**). Векторы расположены под углом 90° друг к другу в соответствии с линиями действия электрических и магнит-

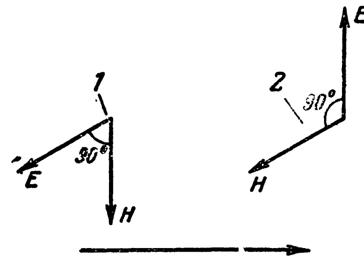


Рис. 10. Расположение векторов электрического и магнитного поля **E** и **H** в пространстве при различных видах поляризации.

1 — горизонтальная поляризация; *2* — вертикальная поляризация.

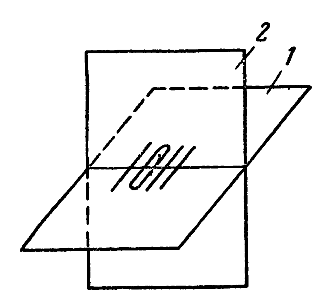


Рис. 11. Плоскости построения диаграмм направленности.

1 — горизонтальная плоскость; *2* — вертикальная плоскость.

ных сил. Вид поляризации радиоволны определяется расположением вектора электрического поля **E** (рис. 10). При горизонтальной поляризации вектор **E** расположен горизонтально, вектор **H** — вертикально. При вертикальной поляризации вектор **E** расположен вертикально, вектор **H** — горизонтально. Радиоволны, излучаемые передающими антеннами телевизионных центров, могут быть в зависимости от конструкции антенны как горизонтально, так и вертикально поляризованными. Если передающая антенна выполнена из горизонтально расположенных вибраторов, то излучаемые радиоволны имеют горизонтальную поляризацию, из вертикально расположенных вибраторов — вертикальную поляризацию. Соответственно прием горизонтально поляризованных радиоволн может производиться только на антенны с горизонтальным расположением вибраторов, вертикально поляризованных — на антенны с вертикальным расположением вибраторов.

Один вид поляризации по сравнению с другим особых преимуществ не имеет. Существует мнение, что для телевизионного вещания горизонтальная поляризация несколько выгоднее, так как горизон-

тально поляризованные радиоволны меньше отражаются от зданий, что облегчает борьбу с повторными изображениями. В большинстве стран мира, в том числе и в нашей стране, принята горизонтальная поляризация. В некоторых странах, например в Англии, передача телевизионного вещания ведется в основном с помощью вертикально поляризованных радиоволн.

Приемные телевизионные антенны, описанные в настоящей книге, рассчитаны на прием горизонтально поляризованных радиоволн.

Перейдем к рассмотрению параметров приемных телевизионных антенн.

Диаграмма направленности. Величина э. д. с., наведенной в антенне электромагнитным полем, зависит от направления прихода радиоволны, что позволяет ослабить помехи, которые приходят с направлений, отличных от направления прихода полезного сигнала. Направленными свойствами обладают в той или иной мере все антенны, включая самые простые. Всенаправленных телевизионных антенн, т. е. таких антенн, которые одинаково принимают со всех направлений в пределах полного телесного угла в 360°, не существует.

В наименьшей степени направленные свойства выражены у простейшей антенны — симметричного вибратора, состоящего из двух коротких прямолинейных проводников одинаковой длины, разделенных зазором. Предположим, что симметричный вибратор расположен горизонтально, т. е. так, как это необходимо для приема горизонтально поляризованных волн. Проведем мысленно две плоскости — вертикальную, проходящую через середину вибратора перпендикулярно его оси, и горизонтальную, проходящую через ось вибратора. В вертикальной плоскости вибратор направленностью не обладает — с какого бы направления, лежащего в этой плоскости, ни пришел сигнал, э. д. с. на клеммах вибратора будет оставаться одной и той же. В горизонтальной плоскости вибратор обладает направленными свойствами, однако они выражены относительно слабо. На клеммах вибратора э. д. с. становится близкой к нулю только в пределах небольшого угла, прилегающего к оси антенны. В связи со слабой направленностью симметричный вибратор не обеспечивает значительного ослабления отраженных сигналов.

Более направленными являются антенны типа «волновой канал». Они принимают сигналы в пределах относительно небольшого угла и позволяют эффективно ослаблять отраженные сигналы, приходящие с направлений, отличных от направления прихода основного сигнала.

Для того, чтобы охарактеризовать направленные свойства антенн, строят специальные графики, называемые *диаграммами направленности*. Диаграмма направленности приемной антенны представляет собой графическое изображение зависимости э. д. с. на клеммах антенны от направления прихода сигнала по отношению к максимальной э. д. с., величина которой условно принята равной единице.

На практике нет необходимости строить пространственные диаграммы направленности, которые характеризовали бы направленные свойства антенны во всем телесном угле в 360°. Достаточно полное представление о направленных свойствах антенны дают диаграммы, показывающие, как зависит э. д. с. на клеммах антенны от направления прихода сигнала в двух плоскостях — горизонтальной и вертикальной, проведенных так, как показано на рис. 11. Такие диаграммы

называют диаграммами направленности в горизонтальной и **вертикальной** плоскостях.

Построение диаграмм направленности производится либо в полярных, либо в прямоугольных (декартовых) координатах (рис. 12). В полярных координатах диаграмма направленности более

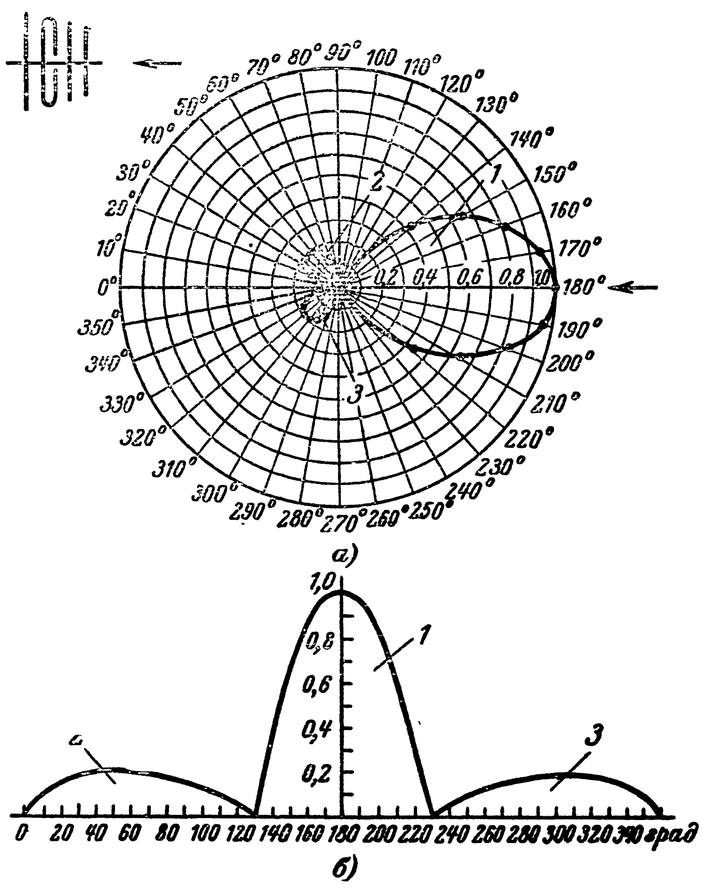


Рис. 12. Диаграмма направленности четырехэлементной антенны типа «волновой канал» по полю в горизонтальной плоскости.

а — в полярных координатах; *б* — в прямоугольных координатах.

наглядна, в прямоугольных — более удобна для различного рода расчетов. Рассмотрим для примера построенную в полярных координатах диаграмму направленности четырехэлементной антенны типа «волновой канал» в горизонтальной плоскости (рис. 12, *а*). Коорди-

натная сетка состоит из двух систем линий. Одна система линий представляет собой концентрические окружности с центром в начале координат. Каждой окружности соответствует определенная величина э. д. с. Окружности наибольшего радиуса соответствует максимальная э. д. с., величина которой условно принята равной единице, а остальным окружностям — промежуточные значения э. д. с. от единицы до нуля Другая система линий, образующих координатную сетку, представляет собой пучок прямых, которые делят центральный угол в 360° на равные части. В нашем примере этот угол разделен на 36 частей по 10° в каждой. При построении более направленных диаграмм, требующих повышенной точности, центральный угол можно разделить, например, на 72 или 144 части по 5 или 2,5° в каждой.

Положим, что радиоволна приходит с направления, показанного на рис. 12, *а* стрелкой (угол 180°). Из диаграммы направленности видно, что этому направлению прихода радиоволны соответствует максимальная э. д. с. на клеммах антенны. При приеме радиоволн, приходящих с любого другого направления, э. д. с. на клеммах антенны будет меньше. Например, если радиоволны приходят под углами 160 и 200° (т е. под углом 20° к оси антенны со стороны директоров), то величина э. д. с. будет равна 0,8 максимальной, под углами 140 и 220° — 0,42 максимальной и т. д.

На диаграмме направленности, которую мы рассматриваем в качестве примера, видны три характерные области — *1*, *2* и *3*. Область *1*, которой соответствует наибольшая сила приема, называют основным или главным лепестком диаграммы направленности, а направление максимального приема — максимумом главного лепестка диаграммы направленности. Области *2* и *3*, находящиеся со стороны рефлектора антенны, носят название задних и боковых лепестков диаграммы направленности. Наличие задних и боковых лепестков свидетельствует о том, что антенна принимает радиоволны не только спереди (со стороны директоров), но и сзади (со стороны рефлектора), что снижает помехоустойчивость приема. В связи с этим при настройке антенны стремятся уменьшить количество и уровень задних и боковых лепестков.

Описанную диаграмму направленности, характеризующую зависимость э. д. с. на клеммах антенны от направления прихода радиоволны, часто называют диаграммой направленности по «полю», так как э. д. с. пропорциональна напряженности электромагнитного поля в точке приема. Возведя в квадрат э. д. с., соответствующую каждому направлению прихода радиоволны, можно получить диаграмму направленности по мощности.

Для численной оценки направленных свойств антенны пользуются понятиями угла раствора основного лепестка диаграммы направленности и уровня задних и боковых лепестков. Углом раствора основного лепестка диаграммы направленности называют угол, в пределах которого э. д. с на клеммах антенны спадает до уровня 0,7 от максимальной. Угол раствора можно также определить, пользуясь диаграммой направленности по мощности, по ее спаду до уровня 0,5 максимальной (угол раствора по «половинной» мощности). В обоих случаях численная величина угла раствора получается, естественно, одной и той же Иногда под углом раствора подразумевают другой угол, а именно тот, в пределах которого основной лепесток диаграммы направленности спадает до нуля (угол раствора по «нулям» основного лепестка). Если уровень, по которо-

му определен угол раствора, не указан, то следует понимать угол по уровню 0,7 э. д. с. (или 0,5 мощности) В нашем примере (рис. 12) угол раствора по уровню 0,7 э. д. с. составляет 50° (по 25° в каждую сторону от оси антенны), а по «нулям» — 100°. Чем меньше угол раствора, тем лучше направленные свойства антенны. Для антенны типа «волновой канал» угол раствора уменьшается с увеличением количества директоров.

Уровень задних и боковых лепестков диаграммы направленности определяется как отношение э. д. с. на клеммах антенны при приеме со стороны максимума заднего или бокового лепестка к э. д. с. при приеме со стороны максимума основного лепестка. В случаях, когда антенна имеет несколько задних и боковых лепестков различной величины, то указывается обычно уровень наибольшего лепестка. Уровень задних и боковых лепестков можно определить также по мощности путем возведения в квадрат уровня задних и боковых лепестков по э. д. с. (по «полю»). На диаграмме направленности рис. 12 оба боковых лепестка имеют одинаковый уровень, равный 0,2 (20%) по э. д. с. или 0,04 (4%) по мощности. Задние и боковые лепестки направленных приемных телевизионных антенн находятся обычно в пределах от 0,1 до 0,25 (по э. д. с.).

В литературе при описании направленных свойств приемных телевизионных антенн часто указывают уровень задних и боковых лепестков, равный среднему арифметическому из уровней лепестков на средней и крайних частотах телевизионного канала. Допустим, что уровень лепестков (по э. д. с.) диаграммы направленности антенны *3* канала ($f = 76 \div 84$ *Мгц*) составляет: на частоте 76 *Мгц* — 0,18; 80 *Мгц* — 0,1; 84 *Мгц* — 0,23. Средний уровень лепестков будет равен $\frac{0,18 + 0,1 + 0,23}{3}$, т. е. 0,17. Помехозащищенность антенны может быть охарактеризована средним уровнем лепестков только в том случае, если в полосе частот телевизионного канала нет резких «выбросов» уровня лепестков, значительно превышающих средний уровень.

Коэффициент усиления. Чем направленнее антенна, т. е. чем меньше угол раствора основного лепестка и меньше уровень задних и боковых лепестков диаграммы направленности, тем больше э. д. с. на клеммах антенны.

Представим себе, что в некоторую точку электромагнитного поля помещен симметричный полуволновый вибратор, ориентированный на максимум приема, т. е. расположенный так, что его продольная ось перпендикулярна направлению прихода радиоволны. На подключенной к вибратору согласованной нагрузке развивается определенное напряжение U_1, зависящее от напряженности поля в точке приема. Поместим далее в ту же точку поля вместо полуволнового вибратора ориентированную на максимум приема антенну с большей направленностью, например четырехэлементную антенну типа «волновой канал», диаграмма направленности которой изображена на рис. 12. Будем считать, что четырехэлементная антенна имеет ту же нагрузку, что и полуволновый вибратор, и также с ней согласована. Так как четырехэлементная антенна является более направленной, чем полуволновый вибратор, то и напряжение на ее нагрузке U_2 будет больше. Отношение напряжений U_2/U_1 и представляет собой к о э ф ф и ц и е н т у с и л е н и я $K_н$ четырехэлементной антенны по напряжению или, как его иначе называют, по «полю».

Таким образом, коэффициент усиления антенны по напряжению или по «полю» можно определить как отношение напряжения, развиваемого антенной на согласованной нагрузке, к напряжению, развиваемому на той же нагрузке согласованным с ней полуволновым вибратором. Обе антенны считаются расположенными в той же точке электромагнитного поля и ориентированными на максимум приема. Часто применяется также понятие коэффициента усиления по мощности K_p, который равен квадрату коэффициента усиления по напряжению ($K_p = K_u^2$).

В определении коэффициента усиления необходимо подчеркнуть два момента. Во-первых, для того чтобы антенны различных конструкций можно было сопоставить друг с другом, каждую из них сравнивают с одной и той же антенной — полуволновым вибратором, который считается эталонной антенной. Во-вторых, для получения на практике выигрыша в напряжении или мощности, определяемого коэффициентом усиления, нужно сориентировать антенну на максимум приема, т. е. так, чтобы радиоволна приходила с направления максимума главного лепестка диаграммы направленности

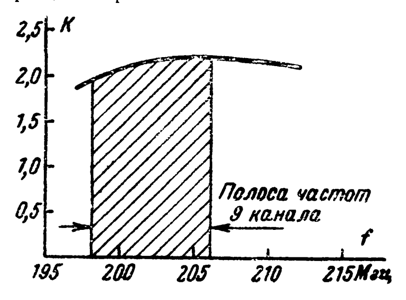


Рис. 13. Частотная характеристика коэффициента усиления по напряжению четырехэлементной антенны типа «волновой канал».

Коэффициент усиления зависит от конструкции антенны и частоты сигнала. Обратимся для пояснения снова к антенне типа «волновой канал». Коэффициент усиления этой антенны возрастает с увеличением количества директоров. Четырехэлементная антенна (рефлектор, активный вибратор и два директора) имеет коэффициент усиления по напряжению, равный 2,2, семиэлементная (рефлектор, активный вибратор и пять директоров) — 2,9. Это означает, что если вместо полуволнового вибратора использовать четырехэлементную антенну, то напряжение на входе телевизионного приемника возрастет в 2,2 раза (мощность в 4,8 раза), а семиэлементную — в 2,9 раза (мощность в 8,4 раза). Коэффициент усиления в полосе частот телевизионного канала не должен меняться очень сильно, так как в противном случае нарушится соотношение между амплитудами отдельных составляющих в спектре частот телевизионного сигнала и появятся частотные искажения. Неравномерность частотной характеристики коэффициента усиления (отношение минимального коэффициента усиления к максимальному в полосе частот телевизионного канала) не должна превышать определенной величины. Для приемных телевизионных антенн допустимая неравномерность частотной характеристики коэффициента усиления по напряжению составляет 0,8 — 0,9. На рис 13 показана частотная характеристики коэффициента усиления четырехэлементной антенны типа «волновой канал» по напряжению для 9-го канала ($f = 198 \div 206$ *Мгц*). Ее неравномерность в полосе частот 9-го канала составляет 0,87 (минимальный коэффициент усиления 1,9, максимальный 2,2).

Действующая длина $h_д$*. Рассмотренный выше параметр — коэффициент усиления — позволяет определить только отношение напряжения U_2, развиваемого какой-либо антенной на согласованной нагрузке, к напряжению U_1, развиваемому на той же нагрузке согласованным полуволновым вибратором. Между тем на практике часто нужно знать абсолютную величину напряжения U_2 на нагрузке (например, на входе телевизионного приемника), выраженную в милливольтах или микровольтах. Это напряжение можно определить, если известна абсолютная величина напряжения U_1 на нагрузке, подключенной к полуволновому вибратору. Умножив тогда напряжение U_1 на коэффициент усиления антенны, мы получим абсолютную величину напряжения U_2.

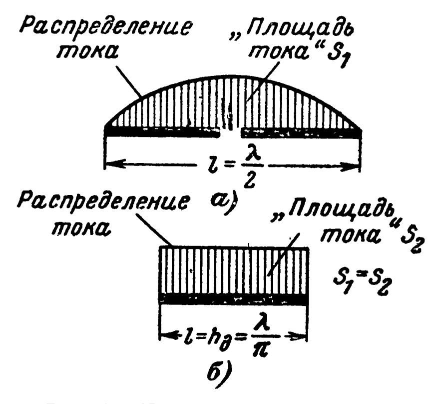


Рис. 14. К определению действующей длины $h_д$ полуволнового вибратора.

а — полуволновый вибратор с синусоидальным распределением тока; *б* — воображаемый вибратор с равномерным распределением тока.

Задача сводится, таким образом, к определению напряжения U_1 на нагрузке, подключенной к полуволновому вибратору. Для определения напряжения U_1 нужно в первую очередь знать э. д. с. на клеммах полуволнового вибратора. Она может быть вычислена через параметр, называемый действующей длиной $h_д$ Действующая длина полуволнового вибратора представляет собой величину, имеющую размерность длины, которая, будучи умноженной на напряженность поля в точке приема, дает э. д. с. на клеммах вибратора, наведенную радиоволной, пришедшей с направления максимального приема. В соответствии с этим определением э. д. с. e на клеммах полуволнового вибратора рассчитывается по формуле

$$e = Eh_д,$$

где E — напряженность поля.

Для полуволнового вибратора действующая длина равна λ/π (λ — длина волны, $\pi = 3{,}14$).

* В технике радиовещательных антенн с вертикальной поляризацией чаще применяется термин «действующая высота $h_д$». В технике приемных телевизионных антенн с горизонтальной поляризацией удобнее использовать термин «действующая длина». Однако буквенное обозначение этого параметра ($h_д$) в целях сохранения единообразия оставим тем же, что и для вещательных антенн.

Рассчитаем, например, э. д. с. e на клеммах полуволнового вибратора 9-го канала на несущей частоте изображения ($f = 199{,}25$ *Мгц*) при напряженности поля $E = 2{,}5$ *мв/м*. Длина волны λ, соответствующая частоте $f = 199{,}25$ *Мгц*, равна 1,51 *м*. Вычисляем действующую длину вибратора·

$$h_д = \frac{\lambda}{\pi} = \frac{1{,}51}{3{,}14} = 0{,}48\ м.$$

Определяем э. д. с. на клеммах вибратора:

$$e = Eh_д = 2{,}5 \cdot 0{,}48 = 1{,}2\ мв.$$

Понятие действующей длины имеет простой физический смысл. Обратимся к рис. 14, где показан полуволновый вибратор. Ток вдоль вибратора распределен по синусоиде (рис. 14, *а*) с максимумом в центре вибратора и нулями по краям. Заштрихованная площадь может быть условно названа «площадью тока» S_1. Представим себе другой вибратор (рис. 14, *б*), отличающийся от полуволнового тем, что ток вдоль его длины распределен равномерно с той же амплидой, что и в центре полуволнового вибратора. Для того чтобы «площадь тока» S_2 второго, воображаемого, вибратора была равна «площади тока» полуволнового вибратора, нужно, чтобы длина второго вибратора была равна λ/π. Эта длина и называется действующей длиной полуволнового вибратора. Таким образом, действующая длина полуволнового вибратора равна длине такого воображаемого вибратора с равномерным распределением тока, который имеет «площадь тока», равновеликую «площади тока» полуволнового вибратора. Действующая длина полуволнового вибратора в пределах полосы частот одного телевизионного канала от частоты зависит мало. В расчетах можно считать ее постоянной.

Входное сопротивление. Отдача мощности из антенны в нагрузку определяется соотношением между входным сопротивлением антенны, которое может рассматриваться как ее внутреннее сопротивление, и сопротивлением нагрузки. При неизменных размерах антенн входное сопротивление зависит от частоты, а при неизменной частоте — от размеров.

В общем случае входное сопротивление является комплексным, т е состоит из активной и реактивной составляющих. Чисто активным сопротивление становится только при определенных соотношениях между размерами антенны и частотой (точки резонанса).

Рассмотрим для примера, как меняется входное сопротивление симметричного линейного вибратора, изображенного на рис. 14, *а*, при изменении его длины. Очень короткий вибратор, длина которого значительно меньше длины волны, имеет входное сопротивление, состоящее из активной составляющей и реактивной составляющей емкостного характера Величина активной составляющей очень мала и измеряется долями или единицами *ом*, реактивной составляющей — очень велика (единицы или десятки килоом). По мере увеличения длины вибратора активная составляющая возрастает, реактивная снижается. При длине, равной $\lambda/4$, активная составляющая имеет величину около 15—20 *ом*, реактивная — около 400—500 *ом*. Когда длина вибратора близка к $\lambda/2$, активная составляющая становится равной 73 *ом*, а емкостная обращается в нуль. Поступает первый (полуволновый) резонанс При длине вибратора между $\lambda/2$ и λ входное сопротивление снова становится комплексным (индуктивного

характера), а при длине, равной λ, наступает второй (волновой) резонанс. В дальнейшем резонансы повторяются через каждые λ/2, причем входное сопротивление в районе нечетных резонансов (λ/2, 3λ/2 и т д.) относительно невелико (порядка сотен *ом*), а в районе четных резонансов (λ, 2λ и т. д.) достигает нескольких килоом.

Наиболее удобным с точки зрения согласования с кабелем является вибратор, работающий в режиме первого резонанса, т. е. полуволновый вибратор. Поэтому он используется как в качестве самостоятельной антенны, так и в качестве активного вибратора многоэлементных антенн типа «волновой канал».

Величина входного сопротивления антенны определяет степень ее согласования с фидерной линией. Оценка качества согласования производится с помощью коэффициента бегущей волны (КБВ), величина которого зависит от соотношения между входным сопротивлением антенны и волновым сопротивлением фидерной линии. Если входное сопротивление является чисто активным, то коэффициент бегущей волны может быть определен следующим образом:

$$\text{КБВ} = \frac{r}{\rho} \text{ при } r < \rho; \quad \text{КБВ} = \frac{\rho}{r} \text{ при } r > \rho,$$

где r — входное сопротивление антенны, ρ — волновое сопротивление линии, определяемое поперечными размерами проводников и расстоянием между ними, а также диэлектрической постоянной изоляционного материала, разделяющего проводники.

Вместо коэффициента бегущей волны иногда пользуются коэффициентом стоячей волны (КСВ), который представляет собой величину, обратную КБВ·

$$\text{КСВ} = \frac{1}{\text{КБВ}}.$$

Наивыгоднейшим режимом работы приемного телевизионного тракта является режим полного согласования антенны с фидерной линией (КБВ = 1). В этом режиме антенна отдает в линию максимально возможную мощность. При КБВ < 1 отдаваемая антенной мощность уменьшается. На рис. 15 показана зависимость потерь сигнала N (*дб*) в децибелах от величины КБВ при чисто активном входном сопротивлении антенны. Указанные потери, которые называют «потерями рассогласования», дают возможность определить (после пересчета децибел в отношение мощностей, о котором будет идти речь в следующем параграфе), во сколько раз снижается мощность, отдаваемая антенной в фидерную линию, по сравнению с максимально возможной мощностью, соответствующей режиму полного согласования. Положим, что КБВ в фидерной линии в сторону антенны равен 0,4. При этой величине КБВ потери рассогласования составляют, как видно на

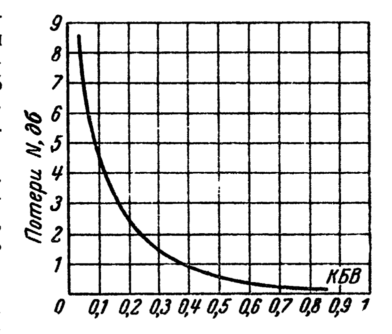


Рис. 15. Потери за счет рассогласования между антенной и фидерной линией.

рис. 15, 0,8 *дб*. Снижению уровня сигнала на 0,8 *дб* соответствует уменьшение мощности на 20%. Полученный результат означает, что при КБВ=0,4 мощность, отдаваемая антенной в фидерную линию, снижается по сравнению с максимально возможной на 20%.

Изменение КБВ в полосе частот телевизионного канала определяет неравномерность частотной характеристики приемного тракта (без учета частотной зависимости коэффициента усиления). Для приемных телевизионных антенн величина КБВ в полосе частот одного канала должна быть не меньше 0,4—0,5. Такая величина КБВ обеспечивает малые потери рассогласования (не более 1 *дб*, т. е. 25% по мощности или 12% по напряжению) и равномерную отдачу мощности на всех частотах телевизионного канала.

В справочной литературе указывается либо минимальный КБВ в полосе частот телевизионного канала, либо его величина на нескольких характерных частотах, чаще всего на несущих частотах изображения и звукового сопровождения и на средней частоте канала.

Децибельная система оценки параметров антенн

В технике приемных телевизионных антенн, как и в ряде других областей радиосвязи и радиовещания, широко применяется очень удобная децибельная система сравнения уровней сигналов.

Основное определение децибела (*дб*) состоит в следующем. Допустим, что нам нужно сравнить между собой мощности P_1 и P_2, развивающиеся на некоторых сопротивлениях R_1 и R_2. Отношение мощностей P_1 и P_2 «в разах» есть P_1/P_2. Это отношение мощностей «в разах» можно представить как разность уровней сигналов N в децибелах по следующей основной формуле:

$$N = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}, \text{ дб.}$$

Если мощность P_1 больше мощности P_2 ($P_1 > P_2$), то отношение P_1/P_2 больше единицы и разность уровней сигналов в децибелах получается положительной (+*дб*), что соответствует усилению сигнала. При $P_1 < P_2$ отношение P_1/P_2 меньше единицы и разность уровней сигналов в децибелах получается отрицательной (—*дб*), что соответствует ослаблению сигнала.

Допустим, что мощности P_1 и P_2 развиваются на одинаковых по величине сопротивлениях ($R_1 = R_2$). В этом случае разность уровней сигналов N (*дб*) может быть определена не только по основной формуле децибел через отношение мощностей, но и через отношение напряжений U_1 и U_2 на этих сопротивлениях:

$$N = 20 \lg \frac{U_1}{U_2}, \text{ дб.}$$

Количество децибел, подсчитанное через отношение мощностей или напряжений по приведенным выше формулам, получается, естественно, одним и тем же.

При подсчете усиления или ослабления сложных цепей, состоящих, например, из ряда последовательно соединенных усилителей или ослабителей, децибелы складываются или вычитаются. Представим себе цепочку из двух усилителей и одного ослабителя, соединенных последовательно. Пусть усиление каждого усилителя по мощности ($P_{вых}/P_{вх}$) равно 200, а ослабление по мощности, вносимое

ослабителем, равно 4. Общее усиление по мощности «в разах» составляет $\frac{200 \cdot 200}{4} = 10\,000$. Усиление в децибелах составит: $10 \lg 200 + 10 \lg 200 - 10 \lg 4 = 23 + 23 - 6 = 40$ *дб*.

Когда имеют дело с отношениями мощностей или напряжений, то применяются такие, например, выражения: «мощность увеличилась в 4 раза», «напряжение уменьшилось в 10 раз» и т. д. В переводе на «язык» децибел эти же выражения означают: «уровень сигнала увеличился на 6 *дб*», «уровень сигнала уменьшился на 20 *дб*» и т. д. Увеличению уровня сигнала на 1 *дб* соответствует увеличение напряжения в 1,12 раза, мощности — в 1,26 раза, на 2 *дб* — соответственно в 1,26 и 1,58 раза, на 3 *дб* — в 1,41 и 2 раза и т. д.

Пользуясь децибелами, нужно твердо помнить о следующем. *Разность уровней сигналов в децибелах можно определять через отношение мощностей по основной формуле децибел независимо от того, равны или не равны сопротивления нагрузок R. Вычисление же децибел через отношение напряжений можно производить только в том случае, если сравниваются напряжения на одинаковых по величине сопротивлениях.* Например, если входное сопротивление усилителя равно 75 *ом*, а сопротивление нагрузки 200 *ом*, то выразить усиление в децибелах можно только по основной формуле через отношение мощностей на входе и выходе. При равенстве входного сопротивления и сопротивления нагрузки усиление усилителя в децибелах можно рассчитать по любой из двух формул.

Характеристики антенн — коэффициент усиления, уровень задних и боковых лепестков и т. д. — могут быть подсчитаны в децибелах как через отношение мощностей (по основной формуле), так и через отношение напряжений. Это объясняется тем, что коэффициент усиления антенны определяется путем ее сравнения с полуволновым вибратором при условии равенства сопротивлений нагрузок; задние и боковые лепестки сравниваются с основным лепестком также при одной и той же нагрузке и т. д. Угол раствора основного лепестка диаграммы направленности определяется по спаду э. д. с. до уровня 0,7 или мощности до уровня 0,5. Этому спаду э. д. с. или мощности соответствует уменьшение уровня сигнала на 3 *дб*. Следовательно, пользуясь децибелами, можно считать углом раствора основного лепестка диаграммы направленности такой угол, в пределах которого уровень принимаемого сигнала снижается не более чем на 3 *дб*.

Характеризуя затухание в кабелях, иногда пользуются вместо децибел более крупной единицей — н е п е р о м: 1 непер равен 8,68 децибела В литературе очень часто параметры телевизионных антенн, так же как и других радиотехнических устройств, приводят в децибелах. Поэтому целесообразно привести несколько практических примеров, которые помогут радиолюбителям правильно переводить отношения мощностей и напряжений в децибелы и обратно.

Пример 1. Определить коэффициент усиления усилителя K (*дб*), если напряжение на входе $U_{вх} = 0{,}1$ *в*, на выходе $U_{вых} = 5$ *в*; входное сопротивление $R_{вх} = 75$ *ом*, сопротивление нагрузки $R_н = 600$ *ом*.

Поскольку $R_{вх} \neq R_н$, коэффициент усиления в децибелах можно определить только по основной формуле через отношение мощностей:

$$P_{вх} = \frac{U_{вх}^2}{R_{вх}} = \frac{0{,}1^2}{75} = 1{,}33 \cdot 10^{-4}\ вт;$$

$$P_{вых} = \frac{U^2_{вых}}{R_н} = \frac{5^2}{600} = 4,16 \cdot 10^{-2}\ вт;$$

$$K\ (дб) = 10 \lg \frac{P_{вых}}{P_{вх}} = 10 \lg \frac{4,16 \cdot 10^{-2}}{1,33 \cdot 10^{-4}} = 25\ дб.$$

Пример 2. Определить коэффициент усиления усилителя K (*дб*) при $U_{вх}=0,05$ *в*, $U_{вых}=2$ *в*, $R_{вх}=R_н=75$ *ом*.

Поскольку $R_{вх}=R_н$, можно определить K (*дб*) как через отношение мощностей, так и через отношение напряжений; удобнее определять через отношение напряжений:

$$K\ (дб) = 20 \lg \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = 20 \lg \frac{2}{0,05} = 32\ дб.$$

Пример 3. Определить коэффициент усиления антенны K_u «в разах» по напряжению, если K (*дб*) $=8$ *дб*.

$$K\ (дб) = 20 \lg K_u,\ \text{отсюда:}\ \lg K_u = \frac{K\ (дб)}{20} = \frac{8}{20} = 0,4;\ K_u = 2,5.$$

Пример 4. Определить коэффициент усиления антенны K (*дб*), если коэффициент усиления «в разах» по мощности $K_p=5$.

$$K\ (дб) = 10 \lg K_p = 10 \lg 5 = 7\ дб.$$

Пример 5. Определить уровень задних и боковых лепестков диаграммы направленности антенны γ (*дб*), если уровень «в разах» по мощности $\gamma_p=0,04$.

$$\gamma\ (дб) = 10 \lg \gamma_p = 10 \lg 0,04 = -14\ дб.$$

В связи с примером 5 нужно отметить следующее. Ослабление сигнала можно в принципе указывать как в (—*дб*), так и в (+*дб*). Однако в последнем случае нужно обязательно уточнить, что речь идет именно об ослаблении сигнала. С учетом этого замечания уровень задних и боковых лепестков применительно к примеру 5 можно указать с помощью децибел двояким образом:

а) уровень задних и боковых лепестков относительно уровня основного лепестка составляет «—14 *дб*»;

б) уровень задних и боковых лепестков ниже уровня основного лепестка на 14 *дб*.

Пример 6. Определить, во сколько раз понизится напряжение на выходе кабеля $U_{вых}$ по сравнению с напряжением на его входе $U_{вх}$, если затухание в кабеле T (*дб*) $=12$ *дб*. Предполагается, что кабель согласован с нагрузкой, т. е. входное сопротивление кабеля равно сопротивлению нагрузки $R_н$ независимо от длины кабеля.

Поскольку ослабление (затухание) выражено в (+*дб*), то будем искать отношение большего напряжения к меньшему, т. е. $U_{вх}/U_{вых}$.

$$T\ (дб) = 20 \lg \frac{U_{вх}}{U_{вых}},\ \text{отсюда}\ \lg \frac{U_{вх}}{U_{вых}} = \frac{T\ (дб)}{20} =$$

$$= \frac{12}{20} = 0,6;\ \frac{U_{вх}}{U_{вых}} = 4.$$

Напряжение на выходе понизится в 4 раза

Предположим, что разность уровней сигнала между выходом и входом кабеля была задана в (—*дб*): $T(\partial б) = -12$ *дб*. В этом случае мы искали бы отношение меньшего напряжения к большему, т. е. $U_{вых}/U_{вх}$:

$$T(\partial б) = 20 \lg \frac{U_{вых}}{U_{вх}}, \text{ отсюда } \lg \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{T(\partial б)}{20} =$$

$$= -\frac{12}{20} = -0,6; \ \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = 0,25.$$

Конечный результат получился такой же.

Расчет напряжения на входе телевизионного приемника

Напряжение на входе телевизионного приемника можно определить, если известна напряженность электромагнитного поля в месте установки антенны и параметры антенны. Подсчет напряжения на входе приемника $U_{пр}$ в милливольтах (*мв*) производится по формуле

$$U_{пр} = \frac{E h_д K_u}{2NT},$$

здесь E — напряженность поля на несущей частоте изображения в *мв/м*; $h_д$ — действующая длина полуволнового вибратора в метрах, определяемая по формуле $h_д = \lambda_{из}/\pi$, где $\lambda_{из}$ — длина волны в метрах, соответствующая несущей частоте изображения; K_u — коэффициент усиления антенны «в разах» по напряжению, N — потери рассогласования «в разах» по напряжению; T — ослабление сигнала в кабеле «в разах» по напряжению.

Если КБВ в кабеле в сторону антенны превышает 0,5, можно принять $N = 1$.

Пример. Определить напряжение на входе приемника при следующих исходных данных Телевизионное вещание в месте приема ведется на 9-м канале. Напряженность поля на несущей частоте изображения $E = 3,5$ *мв/м*. Для приема используется четырехэлементная антенна типа «волновой канал», имеющая следующие характеристики на несущей частоте изображения: $K(\partial б) = 6$ *дб*, КБВ=0,4.

Ослабление сигнала в кабеле снижения $T(\partial б) = 5$ *дб*

1. Определяем длину волны в метрах, соответствующую несущей частоте изображения 9-го канала.

$$\lambda_{из} = \frac{300}{f_{из}(Мгц)} = \frac{300}{199,25} = 1,51 \text{ м}.$$

2. Определяем действующую длину полуволнового вибратора $h_д$ в метрах:

$$h_д = \frac{\lambda_{из}}{\pi} = \frac{1,51}{3,14} = 0,48 \text{ м}.$$

3 Определяем коэффициент усиления антенны «в разах» по напряжению K_u, исходя из заданного коэффициента усиления в децибелах $K(\partial б)$:

$$\lg K_u = \frac{K(\partial б)}{20} = \frac{6}{20} = 0,3; \ K_u = 2.$$

4. Определяем потери рассогласования N «в разах» по напряжению, исходя из величины N в децибелах N (*дб*). По графику на рис. 15 при КБВ=0,4 N (*дб*)=0,8 *дб*.

$$\lg N = \frac{N\,(\partial б)}{20} = \frac{0{,}8}{20} = 0{,}04;\ N = 1{,}1.$$

5. Определяем ослабление сигнала в кабеле снижения T «в разах» по напряжению, исходя из заданного ослабления в децибелах T (*дб*)

$$\lg T = \frac{T\,(\partial б)}{20} = \frac{5}{20} = 0{,}25;\ T = 1{,}78.$$

6. Определяем напряжение на входе приемника:

$$U_{\text{пр}} = \frac{Eh_{\text{д}}K_u}{2NT} = \frac{3{,}5\cdot 0{,}48\cdot 2}{2\cdot 1{,}1\cdot 1{,}78} = 0{,}85\ мв.$$

Глава 3

ФИДЕРНЫЕ ЛИНИИ

Конструкции фидерных линий

Фидерные линии применяются в технике приемных телевизионных антенн в качестве снижений для канализации энергии высокой частоты от антенны к телевизионному приемнику, а также для изготовления различных элементов антенно-фидерного тракта: согласующих и симметрирующих устройств, распределителей мощности телевизионного сигнала и г. д. Основное требование к фидерной линии состоит в гом, что она не должна возбуждаться под действием электромагнитного поля. В противном случае будет происходить прием на фидерную линию, в результате чего исказится диаграмма направленности антенны и понизится помехоустойчивость приема. Источником энергии, распространяющейся по фидерной линии, должна служить только антенна. Эго требование учитывается при определении конструкции фидерной линии и выборе способов ее подключения к антенне (экранирование линий, подключение через симметрирующие трансформаторы и т. д.).

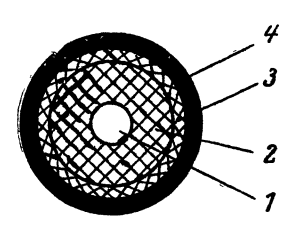


Рис. 16. Поперечное сечение коаксиального кабеля.

1 — медный центральный проводник; 2 — полиэтиленовая изоляция; 3 — наружный проводник, плетенный из медных проволок; 4 — защитная оболочка из полихлорвинилового пластиката.

По конструкции фидерные линии могут быть **гибкими** и **жесткими**. Примером гибкой линии является хорошо известный коаксиальный кабель промышленного изготовления (рис. 16), относящийся к классу несимметричных линий. Коаксиальный кабель практически не возбуждается под действием электромагнитного по-

ля (при условии его правильного подключения к антенне), имеет относительно небольшое затухание, очень удобен для прокладки и широко используется в качестве снижений приемных антенн, для изготовления междуэтажных соединений сложных остронаправленных антенн дальнего приема, симметрирующих трансформаторов и т. д. Как видно на рис. 16, коаксиальный кабель состоит из медного центрального проводника *1* (одножильного или многожильного), полиэтиленовой изоляции *2*, наружного проводника *3*, плетенного из медных проволок, и защитной оболочки *4* из полихлорвинилового пластиката или пигментированного полиэтилена Промышленность выпускает большой выбор коаксиальных кабелей с волновыми сопротивлениями 75 и 50 *ом* Наиболее употребительными являются кабели с волновым сопротивлением 75 *ом* РК-75-4-15 (РК-1), РК-75-4-11 (РК-101), РК-75-4-16 (РК-49), РК-75-4-12 (РК-149), РК-75-9-12 (РК-3), РК-75-9-13 (РК-103), КПТА-1. Кабели с волновым сопротивлением 50 *ом* — РК-50-4-13 (РК-29), РК-50-2-11 (РК 119), РК-50-2-13 (РК-19) и т д. — используются в основном для изготовления согласующих трансформаторов и делителей мощности телевизионного сигнала.

Другим видом гибкой линии, которая используется иногда в качестве снижения приемной телевизионной антенны, является симметричный неэкранированный кабель. По сравнению с коаксиальным этот кабель применяется реже, так как он менее помехоустойчив и требует во избежание рассогласования с антенной прокладки с помощью специальных изоляторов.

Различные варианты жестких фидерных линий показаны на рис. 17.

Линии № 1—5 применяются для изготовления различных узлов фидерных трактов — фильтров, направленных ответвителей и т. д. Линии № 6—8 используются в качестве междуэтажных соединений в сложных телевизионных антеннах.

Параметры фидерных линий

Фидерные линии характеризуются следующими основными параметрами. коэффициентом укорочения длины волны, постоянной распространения, волновым сопротивлением и погонным затуханием.

Коэффициент укорочения длины волны. Скорость распространения радиоволн по фидерной линии с относительно небольшим затуханием равна скорости распространения света в среде, окружающей фидерную линию. Если линия является воздушной (влиянием опорных изоляторов можно, в первом приближении, пренебречь), то скорость распространения радиоволн v по этой линии равна скорости света в воздухе $v=c=300\,000$ *км/сек*. Рассмотрим линию, полностью или частично заполненную диэлектриком (например, полистиролом, полиэтиленом, органическим стеклом и т. д.), диэлектрическая постоянная которого $\varepsilon>1$. Свет распространяется в таких средах со скоростью, меньшей чем в воздухе. Следовательно, скорость распространения радиоволн v по линии, полностью или частично заполненной диэлектриком с $\varepsilon>1$, меньше скорости света в воздухе. С уменьшением скорости распространения радиоволн по линии уменьшается длина волны высокочастотных колебаний в линии. Поскольку длина волны λ пропорциональна скорости распространения $v(\lambda=v/f)$, то длина волны высокочастотных колебаний в линии. Поскольку длина

№ п/п.	Наименование линии	Форма поперечного сечения	Волчовое сопротивление, *ом*	Условие применимости формулы волнового сопротивления
1	Концентрическая линия		$\rho = 138 \lg \frac{D}{d}$	—
2	Цилиндрический проводник в трубе квадратного сечения		$\rho = 138 \lg 1{,}08 \frac{A}{d}$	$\frac{A}{d} > 2$
3	Лента в трубе цилиндрического сечения		$\rho = 138 \lg \frac{2D}{b}$	$\frac{D}{b} > 2$
4	Лента в трубе квадратного сечения		$\rho = 138 \lg 2{,}16 \frac{A}{b}$	$\frac{A}{b} > 2$

№ п/п	Наименование линии	Форма поперечного сечения	Волновое сопротивление, *ом*	Условия применимости формулы волнового сопротивлечия
5	Параллельные цилиндрические проводники в трубе цилиндрического сечения		$\rho = 276 \lg \left(\frac{2A}{d} \frac{D^2 - A^2}{D^2 + A^2} \right)$	$\frac{D}{d} > 4$
6	Параллельные цилиндрические проводники		$\rho = 276 \lg \frac{2A}{d}$	$\frac{A}{d} > 2{,}5$
7	Параллельные ленты		$\rho = 377 \frac{A}{A + b}$	$\frac{A}{b} < 3$
8	Параллельные ленты в общей плоскости		$\rho = \frac{257}{\lg \left(4 + 8 \frac{b}{A} \right)}$ $\rho = 276 \lg \left(4 + 4 \frac{A}{b} \right)$	$\frac{A}{b} < 1$ $\frac{A}{b} > 1$

Рис. 17. Жесткие фидерные линии.

в воздухе, во сколько раз скорость распространения радиоволн по линии меньше скорости света. Величина, показывающая, во сколько раз длина волны в линии, заполненной диэлектриком с $\varepsilon > 1$, меньше длины волны в воздухе, называется коэффициентом укорочения длины волны. Для линий со сплошным заполнением диэлектриком, в частности для коаксиальных кабелей, коэффициент укорочения равен $\sqrt{\varepsilon}$. Отсюда следует, что длина волны в кабеле $\lambda_к$ может быть определена через длину волны в воздухе λ следующим образом:

$$\lambda_к = \frac{\lambda}{\sqrt{\varepsilon}}.$$

В большинстве коаксиальных кабелей промышленного изготовления в качестве изоляции между центральным и наружным проводниками используется полиэтилен, диэлектрическая постоянная которого $\varepsilon = 2{,}3$. Коэффициент укорочения $\sqrt{\varepsilon}$ составляет для этих кабелей 1,52. В некоторых коаксиальных кабелях, например в кабеле КПТА-1, изоляцией служит пористый полиэтилен, включающий в себя мельчайшие пузырьки воздуха. Коэффициент укорочения $\sqrt{\varepsilon}$ в кабелях с изоляцией из пористого полиэтилена равен примерно 1,25.

Пример. Определить длину волны $\lambda_к$ в кабеле РК-75-4-15 (РК-1), подключенном к антенне 3-го канала на несущей частоте изображения $f = 77{,}25$ *Мгц* Диэлектрическая постоянная изоляции кабеля $\varepsilon = 2{,}3$.

1. Определяем длину волны λ, соответствующую несущей частоте изображения 3-го канала:

$$\lambda\,(м) = \frac{300}{f\,(Мгц)} = \frac{300}{77{,}25} = 3{,}9\ м.$$

2. Определяем длину волны в кабеле $\lambda_к$:

$$\lambda_к = \frac{\lambda}{\sqrt{\varepsilon}} = \frac{\lambda}{\sqrt{2{,}3}} = \frac{3{,}9}{1{,}52} = 2{,}55\ м.$$

В коаксиальном кабеле вся распространяющаяся электромагнитная энергия полностью сосредоточена в изоляции между центральным и наружным проводниками. В симметричном неэкранированном (ленточном) кабеле, в отличие от коаксиального, по изоляции между проводниками распространяется только часть электромагнитной энергии. Другая ее часть распространяется по воздуху в непосредственной близости от проводников кабеля. В связи с этим коэффициент укорочения в ленточном кабеле меньше, чем в коаксиальном, при той же диэлектрической постоянной изоляции. Так, например, коэффициент укорочения ленточного кабеля КАТВ составляет примерно 1,1 ($\lambda/\lambda_к = 1{,}1$).

В практике работ по расчету и настройке приемных телевизионных антенн иногда нужно определить длину отрезка кабеля, обеспечивающую требуемый сдвиг фазы высокочастотного напряжения. Это удобно сделать через постоянную распространения (волновое число) m, которая равна $2\pi/\lambda_к$ и показывает, на сколько радиан (или соответственно градусов) изменяется фаза напряжения, распространяющегося по кабелю, на единицу длины ка-

беля (например, на 1 *м*). Если постоянная распространения известна, то сдвиг фазы φ в радианах (*рад*) на длине l равен:

$$\varphi\,(рад) = \frac{2\pi}{\lambda_к}\,l.$$

Сдвиг фазы φ в радианах или градусах иногда называют электрической длиной кабеля.

Пример. Определить длину кабеля, обеспечивающего сдвиг фазы φ на 75° на той же частоте, что и в предыдущем примере ($f=77{,}25$ *Мгц*) Диэлектрическая постоянная изоляции $\varepsilon=2{,}3$.

1. Исходя из заданного сдвига фазы в градусах, определяем его в радианах, учитывая, что одному радиану соответствует угол 57°:

$$\varphi\,(рад) = \frac{75}{57} = 1{,}32\ рад.$$

2. Определяем искомую длину кабеля. Длину волны в кабеле $\lambda_к$ заимствуем из предыдущего примера:

$$\varphi\,(рад) = \frac{2\pi}{\lambda_к}\,l, \text{ отсюда } l = \frac{\varphi\,(рад)}{2\pi}\,\lambda_к = \frac{1{,}32}{6{,}28}\cdot 2{,}55 = 0{,}53\ м.$$

Волновое сопротивление. Важным параметром фидерной линии, от которого зависит при заданном сопротивлении нагрузки распределение напряжения и тока вдоль линии, а следовательно, и ее входное сопротивление, является волновое сопротивление.

Для того чтобы пояснить физический смысл этого параметра, представим себе фидерную линию (рис 18), ко входу которой приложено высокочастотное напряжение с амплитудой U. Это напряже-

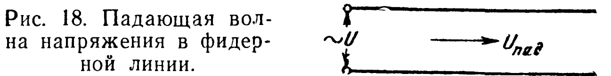


Рис. 18. Падающая волна напряжения в фидерной линии.

ние в виде падающей волны $U_{пад}$ будет распространяться по линии слева направо. Под воздействием падающей волны напряжения в линии возникает падающая волна тока $I_{пад}$, также распространяющаяся слева направо. Амплитуда падающей волны тока зависит от амплитуды падающей волны напряжения следующим образом:

$$I_{пад} = \frac{U_{пад}}{\rho}.$$

Величина ρ представляет собой волновое сопротивление фидерной линии. Таким образом, волновое сопротивление фидерной линии — это сопротивление, на которое нужно разделить амплитуду падающей волны напряжения, чтобы получить амплитуду падающей волны тока.

Волновое сопротивление определяется индуктивностью L_1 и емкостью C_1, приходящимися на единицу длины линии:

$$\rho = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}}.$$

Погонные индуктивность и емкость L_1 и C_1 зависят в свою очередь от формы и размеров проводников, а также от μ и ε — магнитной и диэлектрической проницаемости материала, заполняющего линию. В коаксиальных кабелях в качестве изоляции используются полиэтилен, пористый полиэтилен и фторопласт, для которых $\mu = 1$, а $\varepsilon = 2{,}3$ (полиэтилен), 1,5—1,6 (пористый полиэтилен), 2—2,2 (фторопласт). В воздушных линиях $\mu = 1$ и $\varepsilon = 1$.

Для коаксиального кабеля (см. рис. 16) погонная индуктивность L_1 в генри на метр (*гн/м*) и погонная емкость C_1 в фарадах на метр (*ф/м*) определяются следующими выражениями:

$$L_1 = 4{,}6 \cdot 10^{-7} \lg \frac{D}{d}, \ гн/м; \quad C_1 = \frac{2{,}4 \cdot 10^{-11} \varepsilon}{\lg \frac{D}{d}}, \ ф/м.$$

Отсюда волновое сопротивление коаксиального кабеля:

$$\rho = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}} \lg \frac{D}{d}, \ ом.$$

Погонная индуктивность и погонная емкость воздушной двухпроводной линии из параллельных цилиндрических проводников (линия № 6 на рис. 17), часто применяемой для устройства междуэтажных соединений в сложных антеннах, могут быть выражены следующим образом:

$$L_1 = 9{,}2 \cdot 10^{-7} \lg \frac{2A}{d}, \ гн/м; \quad C_1 = \frac{1{,}2 \cdot 10^{-11}}{\lg \frac{D}{d}}, \ ф/м.$$

Отсюда волновое сопротивление воздушной двухпроводной линии:

$$\rho = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = 276 \lg \frac{2A}{d}, \ ом.$$

На рис. 17 приведены волновые сопротивления жестких воздушных экранированных и неэкранированных линий. Если жесткие экранированные линии (линии № 1—5) заполнены диэлектриком с $\varepsilon > 1$, то их волновые сопротивления можно определить, разделив волновое сопротивление воздушной линии на $\sqrt{\varepsilon}$. Волновые сопротивления неэкранированных линий (линии № 6—8), проводники которых разделены прослойкой диэлектрика с $\varepsilon > 1$, зависят от формы этой прослойки и определяются обычно экспериментально.

Режим работы фидерной линии зависит от соотношения между волновым сопротивлением линии ρ и сопротивлением нагрузки $Z_н$. Когда сопротивление нагрузки чисто активно и равно волновому сопротивлению ($Z_н = R_н = \rho$), в линии существуют только падающие волны напряжения и тока, распространяющиеся от источника к нагрузке. Если сопротивление нагрузки не равно волновому сопротивлению линии, то падающие волны напряжения и тока, дошедшие до конца линии, частично или полностью отражаются и начинают распространяться в обратном направлении — от нагрузки к источнику.

В тех сечениях линии, где фазы падающих и отраженных волн напряжения (тока) совпадают, образуются максимумы напряжения (тока), а в тех сечениях, где фазы противоположны — минимумы напряжения (тока). Расстояние между соседними минимумами или максимумами составляет половину длины волны в линии $\lambda_к/2$, между минимумом и максимумом — четверть длины волны в

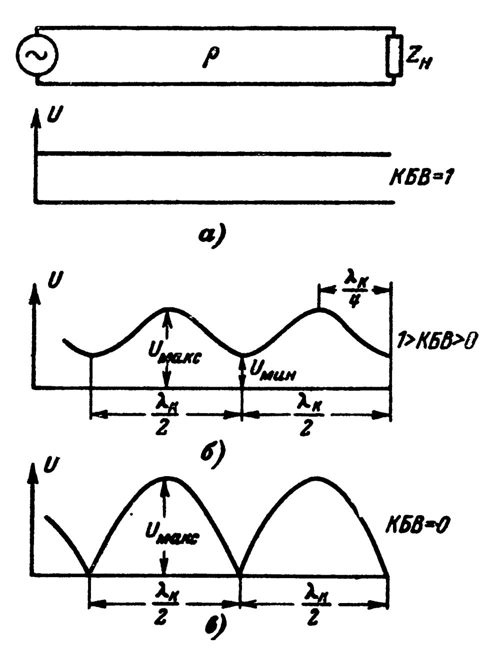


Рис. 19. Режимы работы фидерной линии.

а — режим бегущей волны; *б* — промежуточный режим; *в* — режим стоячей волны

линии $\lambda_к/4$. Максимумы иногда называют пучностями, минимумы — узлами. Режим работы линии численно оценивается ранее упоминавшимся коэффициентом бегущей волны, представляющим собой отношение напряжения в минимуме ($U_{мин}$) к напряжению в максимуме ($U_{макс}$)

$$КБВ = \frac{U_{мин}}{U_{макс}}.$$

Рассмотрим характерные режимы работы фидерной линии (рис. 19).

I. Режим бегущей волны (рис. 19, *а*). Этот режим создается в линии в том случае, когда $Z_н = R_н = \rho$. Отраженные волны отсутствуют, амплитуда напряжения в любом сечении линии одна и та же

($U_{мин}=U_{макс}$). Коэффициент бегущей волны КБВ=1, входное сопротивление линии чисто активно и равно волновому сопротивлению ($Z_{вх}=R_{вх}=\rho$). В режиме бегущей волны из источника в линию поступает максимально возможная мощность

II. Режим стоячей волны (рис. 19, *в*). Этот режим создается в линии в одном из трех случаев:

линия нагружена на чисто реактивное сопротивление (индуктивность или емкость);

конец линии замкнут накоротко ($Z_н=0$);

конец линии разомкнут ($Z_н=\infty$).

В каждом из трех указанных случаев амплитуда отраженной волны напряжения (тока) равна амплитуде падающей волны. В сечениях линии, где фазы падающих и отраженных волн противоположны, образуются нули напряжения (тока), а в тех сечениях, где фазы совпадают — максимумы. В линии устанавливаются стоячие волны, причем стоячая волна напряжения сдвинута относительно стоячей волны тока на четверть длины волны в линии ($\lambda_к/4$). В случае короткого замыкания напряжение на конце линии равно нулю, а ток максимален, в случае холостого хода напряжение на конце линии максимально, а ток равен нулю. При нагрузке на реактивное сопротивление (индуктивность или емкость) напряжение и ток на конце линии имеют значения, промежуточные между нулем и максимумом. Распределение напряжения, показанное на рис. 19, *в* (напряжение на конце линии равно нулю), соответствует случаю короткого замыкания. Коэффициент бегущей волны в режиме стоячей волны равен нулю (КБВ=0).

В режиме стоячей волны перенос энергии в линии от источника к нагрузке отсутствует, так как вся энергия, отдаваемая источником в линию в виде падающей волны, возвращается обратно в источник в виде отраженной волны. Поэтому режим стоячей волны в фидерной линии является самым невыгодным.

Входное сопротивление закороченной и разомкнутой фидерной линии зависит от ее волнового сопротивления ρ и от отношения длины линии l к длине волны в линии $\lambda_к$. Рассчитать входное сопротивление можно по следующим формулам:

а) закороченная линия

$$Z_{вх} = j\rho \operatorname{tg} ml;$$

б) разомкнутая линия

$$Z_{вх} = -j\rho \operatorname{ctg} ml.$$

Символ «*j*», стоящий в этих формулах перед численной величиной сопротивления, указывает на его реактивный (индуктивный или емкостный) характер. Если в результате расчета сопротивление получится со знаком «—», то это означает, что оно имеет емкостный характер, со знаком «+» — индуктивный.

Пример. Определить входное сопротивление закороченного на конце отрезка коаксиального кабеля на несущей частоте изображения 12 канала ($f=223{,}25$ *Мгц*), если его волновое сопротивление $\rho=75$ *ом*, а длина $l=0{,}35$ *м*. Коэффициент укорочения $\sqrt{\varepsilon}=1{,}52$.

1. Определяем длину волны λ, соответствующую несущей частоте изображения 12-го канала:

$$\lambda\,(м) = \frac{300}{f\,(Мгц)} = \frac{300}{223{,}25} = 1{,}34\ м.$$

2. Определяем длину волны в кабеле $\lambda_к$:

$$\lambda_к = \frac{\lambda}{\sqrt{\varepsilon}} = \frac{1,34}{1,52} = 0,88 \text{ м}.$$

3. Определяем входное сопротивление закороченного отрезка кабеля:

$$Z_{вх} = j\rho \operatorname{tg} ml = j\,75 \operatorname{tg} 144° = -j\,55.$$

Полученный результат означает, что входное сопротивление имеет емкостный характер и численно равно 55 *ом*.

Нужно отметить, что, пользуясь формулами для входного сопротивления закороченной и разомкнутой линии, можно решить и обратную задачу — определить длину линии, необходимую для получения индуктивного или емкостного сопротивления определенной величины.

Из приведенных формул для входного сопротивления вытекает ряд важных следствий, касающихся свойств закороченных и разомкнутых отрезков линий. Входное сопротивление закороченной линии, длина которой кратна нечетному числу четвертей волн ($\lambda_к/4$, $3\lambda_к/4$, $5\lambda_к/4$ и т д.), очень велико ($Z_{вх} = \infty$), а четному числу четвертей волн ($\lambda_к/2$, $\lambda_к$, $3\lambda_к/2$) — очень мало ($Z_{вх}=0$). Входное сопротивление разомкнутой линии, длина которой кратна нечетному числу четвертей волн, очень мало ($Z_{вх}=0$), а четному числу четвертей — очень велико ($Z_{вх} = \infty$). Эти свойства закороченных и резомкнутых линий широко используются при построении различных схем на распределенных постоянных, в частности, смесительных и разделительных фильтров.

III. Промежуточный режим (рис. 19, *б*). Если сопротивление нагрузки является чисто активным, но не равным волновому сопротивлению фидерной линии ($Z_{вх}=r\neq\rho$), или комплексным ($Z_{вх}=r\pm jx$), состоящим из активной и реактивной составляющих, то режим работы линии является промежуточным между режимами бегущей и стоячей волны.

В этом режиме амплитуда отраженной волны меньше амплитуды падающей волны, поэтому напряжение в минимуме, где падающая и отраженная волны противофазны, не равно нулю. Коэффициент бегущей волны имеет промежуточное значение между нулем и единицей ($1>$КБВ>0). Чем ближе активная составляющая сопротивления нагрузки r к волновому сопротивлению линии и чем меньше реактивная составляющая сопротивления нагрузки x, тем ближе режим работы линии к режиму бегущей волны. Кривая распределения напряжения вдоль линии «сглаживается», напряжение в минимуме возрастает, а в максимуме уменьшается. При этом возрастает коэффициент бегущей волны. При чисто активной нагрузке, не равной волновому сопротивлению линии, на конце линии имеет место либо максимум напряжения (при $r>\rho$) либо минимум (при $r<\rho$). Распределение напряжения, показанное на рис. 19, *б*, соответствует чисто активной нагрузке $r<\rho$.

Четвертьволновые отрезки линий, работающие при значениях КБВ между нулем и единицей, используются в качестве широкополосных согласующих трансформаторов для согласования кабеля снижения с входным сопротивлением многоэтажной антенны. Возможность такого использования четвертьволновых отрезков линий основана на следующем. Входное сопротивление четвертьволнового

отрезка линии с волновым сопротивлением ρ, нагруженного на чисто активное сопротивление r, определяется соотношением

$$R_{вх} = \frac{\rho^2}{r}.$$

Из этого соотношения видно, что меняя ρ, можно менять $R_{вх}$ при одном и том же сопротивлении нагрузки r. Положим, что нам нужно согласовать кабель с волновым сопротивлением ρ_1 с антенной, входное сопротивление которой равно r. Для этого между согласуемым кабелем и антенной нужно включить четвертьволновой отрезок кабеля с таким волновым сопротивлением ρ, чтобы его входное сопротивление было равно ρ_1 ($R_{вх}=\rho_1$). Требуемое волновое сопротивление четвертьволнового согласующего трансформатора (рис. 20) можно вычислить по формуле

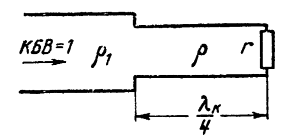


Рис 20. Четвертьволновый согласующий трансформатор.

$$\rho = \sqrt{\rho_1 r}.$$

Пример. Определить волновое сопротивление ρ четвертьволнового согласующего трансформатора для согласования кабеля снижения с волновым сопротивлением $\rho_1=75$ *ом* с антенной, имеющей входное сопротивление $r=37{,}5$ *ом* (два симметричных полуволновых вибратора, включенных параллельно):

$$\rho = \sqrt{\rho_1 r} = \sqrt{75 \cdot 37{,}5} = 53 \ ом.$$

Погонное затухание. По мере распространения телевизионного сигнала по фидерной линии от антенны к приемнику уровень сигнала постепенно снижается за счет потерь в изоляции и в проводниках линии. Потери в линии оцениваются погонным затуханием, т. е. затуханием на единицу длины линии. Погонное затухание чаще всего выражают в децибелах на метр или километр Если β — погонное затухание в линии, а l — длина линии в метрах, то общее затухание определяется следующим образом:

$$T\ (дб) = \beta l.$$

Погонное затухание наиболее употребительных кабелей с волновым сопротивлением 75 *ом* приведено в приложении.

Глава 4

ПРОСТЕЙШИЕ ПРИЕМНЫЕ АНТЕННЫ

Принцип действия симметричного полуволнового вибратора

Простейшими антеннами, предназначенными для приема телевизионных передач на расстояниях до 40—50 *км* от телевизионного центра, являются симметричные вибраторы, относящиеся к классу слабонаправленных антенн. Наибольшее распространение получили симметричные вибраторы, работающие в режиме полуволнового резонанса, т. е симметричные вибраторы, длина которых примерно равна половине длины волны Полуволновый вибратор удобен для согласования со стандартными коаксиальными кабелями промышленного производства, имеет очень простую конструкцию и может быть легко изготовлен. В качестве приемной телевизионной антенны может быть в принципе использован также и симметричный вибратор длиной в волну (волновой вибратор), коэффициент усиления которого больше, чем у полуволнового примерно на 1,7 *дб*, т. е. на 20% по напряжению. Однако волновой вибратор труднее согласовать со стандартными коаксиальными кабелями с волновым сопротивлением 75 *ом*. Недостатком волнового вибратора с точки зрения его практического использования в качестве приемной антенны является также большая длина, вдвое превышающая длину полуволнового вибратора.

Принцип действия симметричного полуволнового вибратора можно упрощенно объяснить следующим образом.

Рассмотрим разомкнутую на конце двухпроводную линию длиной $\lambda/4$, состоящую из близко расположенных параллельных проводников (рис. 21). Под воздействием высокочастотной э. д. с., приложенной

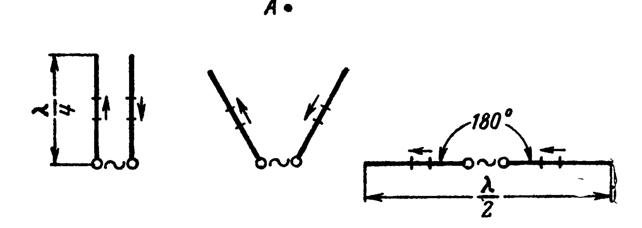


Рис. 21. Преобразование четвертьволновой разомкнутой линии в симметричный полуволновый вибратор.

ко входным зажимам, в проводниках линии потекут токи высокой частоты, причем распределение амплитуд токов и напряжений вдоль линии будет иметь вид стоячих волн, рассмотренных в предыдущей главе. Токи, протекающие по левому и правому проводникам в произвольном сечении линии, в любой момент времени равны по величине и противоположны по направлению. Каждый из этих токов создает в пространстве (например, в удаленной от линии на большое расстояние точке *A*) электромагнитное поле. Поскольку токи в проводниках имеют противоположные направления, то напряженность

поля, созданная в точке A правым током, будет в противофазе по отношению к напряженности поля, созданной левым током. Результирующая напряженность поля, создаваемая в точке A текущими по линии токами, равна, следовательно, нулю. В любой другой достаточно удаленной от линии точке пространства напряженность поля также будет равна нулю Двухпроводная линия, таким образом, практически не излучает электромагнитную энергию. Но если двухпроводная линия не может работать в качестве передающей антенны, то она не будет работать и в качестве приемной, т. е. не сможет принимать электромагнитные волны из окружающего пространства.

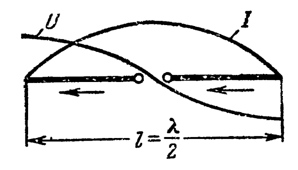


Рис. 22 Распределение амплитуд напряжения и тока вдоль симметричного полуволнового вибратора

Развернем теперь проводники линии таким образом, чтобы угол между ними составил 180°. В проводниках развернутой линии, как видно на рис. 21, токи текут в каждый момент времени в одном и том же направлении. Напряженность поля, созданная в пространстве правым током, будет складываться с напряженностью поля, созданной левым током. В результате этого в пространстве возникнет электромагнитное поле излучения. Следовательно, развернутая двухпроводная линия представляет собой антенну, которая может как излучать электромагнитные волны, так и принимать их из окружающего пространства. Если длина исходной двухпроводной линии равна четверти длины волны, то полученная в результате разворота проводников антенна является симметричным полуволновым вибратором.

Распределение амплитуд тока и напряжения вдоль симметричного полуволнового вибратора (рис. 22) можно приближенно считать тем же, что и вдоль проводников исходной двухпроводной линии. Амплитуды тока и напряжения меняются вдоль вибратора по закону стоячих волн. Ток равен нулю на краях вибратора и достигает максимума в его центре. Напряжение на краях вибратора максимально, а в центре равно нулю.

Кривые распределения тока и напряжения в виде стоячих волн, показанные на рис 22, не являются вполне точными. Дело в том, что в вибраторе, в отличие от двухпроводной линии, имеет место расход энергии на излучение. Поэтому на полуволновый вибратор нельзя автоматически перенести распределение тока и напряжения вдоль проводников четвертьволновой разомкнутой линии. Действительный характер распределения тока и напряжения вдоль полуволнового вибратора учитывает потери на излучение и несколько отличается от показанного на рис. 22. Тем не менее представление о том, что распределение тока и напряжения вдоль полуволнового вибратора остается тем же, что и вдоль разомкнутой четвертьволновой линии, позволяет получить ряд важных выводов о свойствах вибратора, подтвержденных на практике. Это относится в первую очередь к характеру изменения реактивной составляющей входного сопротивления на клеммах вибратора при изменении частоты. Допустим, что длина разомкнутой линии равна на некоторой частоте четверти длины волны. Если несколько увеличить частоту, то входное сопротивление линии будет иметь индуктивный характер, а если уменьшить, то емкостный. Аналогичным образом меняется при изменении часто-

ты и реактивная составляющая входного сопротивления полуволнового вибратора. На частоте, превышающей частоту полуволнового резонанса, реактивная составляющая имеет индуктивный характер, а на более низкой частоте — емкостной Что касается активной составляющей входного сопротивления полуволнового вибратора, то ее величину нельзя определить по аналогии с двухпроводной линией, т. е. исходя из распределения тока и напряжения в виде чисто стоячих волн. Входное сопротивление четвертьволновой разомкнутой линии, как указывалось в предыдущей главе, равно нулю. В то же время входное сопротивление полуволнового вибратора на резонансной частоте составляет 73 *ом*. Поэтому активную составляющую входного сопротивления вибратора в точке резонанса и в полосе частот находят не с помощью теории двухпроводных линий, а более строгими методами, учитывающими излучение.

Наличие потерь на излучение в проводах вибратора приводит к еще одному важному следствию, которое касается точного определения резонансной длины полуволнового вибратора. Дело в том, что скорость распространения электромагнитных волн в линиях с потерями несколько меньше скорости света в свободном пространстве. Поэтому и длина волны в линии с потерями (например, в проводах вибратора) меньше, чем в свободном пространстве. Это приводит к тому, что для точной настройки полуволнового вибратора в резонанс длина его должна быть немного меньше, чем половина длины волны в свободном пространстве. Необходимое укорочение полуволнового вибратора определяется к о э ф ф и ц и е н т о м у к о р о ч е н и я δ %, показывающим, на сколько процентов от половины длины волны в свободном пространстве нужно укоротить вибратор, чтобы он оказался настроенным в резонанс. Длина полуволнового вибратора может быть рассчитана с учетом коэффициента укорочения по формуле

$$l = \frac{\lambda}{2}\left(1 - \frac{\delta\%}{100}\right).$$

Величина коэффициента укорочения зависит от отношения длины волны в свободном пространстве к диаметру вибратора. Чем тоньше вибратор при данной длине волны, тем меньше коэффициент укорочения. На рис. 23 приведена зависимость коэффициента укорочения δ % от отношения длины волны λ к учетверенному диаметру вибратора. Пользуясь этим графиком, можно определить коэффициент укорочения и рассчитать резонансную длину полуволнового линейного вибратора.

Пример. Определить длину полуволнового вибратора, настроенного на несущую частоту изображения 5-го канала (f=93,25 *Мгц*). Для изготовления вибратора используются трубки диаметром 16 *мм.*

1. Определяем длину волны в метрах, соответствующую несущей частоте изображения 5-го канала:

$$\lambda = \frac{300}{f\,(Мгц)} = \frac{300}{93,25} = 3,24\ м.$$

2 Определяем отношение $\lambda/4d$:

$$\frac{\lambda}{4d} = \frac{3\,240}{4\cdot 16} = 50.$$

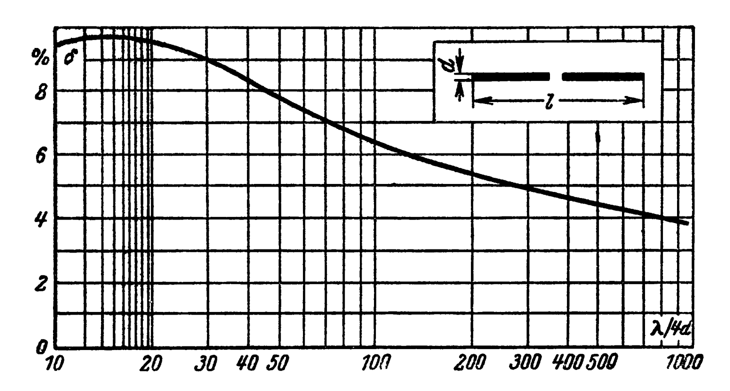


Рис. 23. Укорочение полуволнового линейного вибратора (по данным Брауна и Вудворда).

3. По графику (рис. 23) определяем коэффициент укорочения:

$$\delta = 7{,}8\%.$$

4. Определяем резонансную длину полуволнового вибратора:

$$l = \frac{\lambda}{2}\left(1 - \frac{\delta\%}{100}\right) = \frac{3\,240}{2}\left(1 - \frac{7{,}8}{100}\right) = 1\,490 \text{ мм}.$$

Практические разновидности симметричных полуволновых вибраторов

В качестве простейших приемных телевизионных антенн на практике используются следующие разновидности симметричных полуволновых вибраторов (рис. 24): линейный неразрезной, линейный разрезной и петлевой (вибратор Пистолькорса).

Линейный неразрезной вибратор (рис. 24, *а*) представляет собой трубку или стержень, точная длина которого l при полуволновом резонансе может быть определена по приведенной выше формуле. Крепление вибратора к металлической или деревянной мачте может производиться без промежуточных изоляторов в точке O, являющейся точкой нулевого потенциала. Входное сопротивление вибратора зависит от положения точек питания и возрастает по мере их удаления от середины вибратора. Зависимость входного сопротивления от положения точек питания показана на рис. 25. Как видно из этого графика, входное сопротивление вибратора составляет 75 *ом* при отношении расстояния между точками питания t к длине вибратора l, равном 0,15—0,2, т. е. в том случае, когда расстояние между точками питания составляет примерно 1/5 длины вибратора. Столь большое расстояние между точками питания затрудняет подключение к вибратору кабеля снижения, так как при большом разносе проводников образуется неоднородность, ухудшающая согласование вибратора с кабелем Подключение кабеля снижения может производиться через плавно сходящуюся двухпроводную линию (дельта-трансформатор),

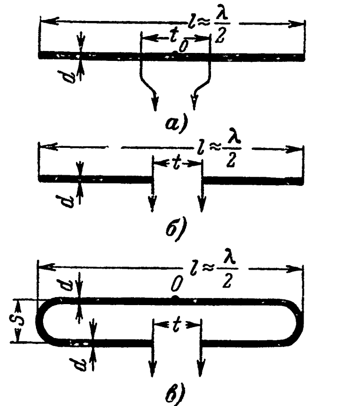


Рис. 24. Разновидности полуволновых вибраторов.

а — линейный неразрезной; *б* — линейный разрезной; *в* — петлевой.

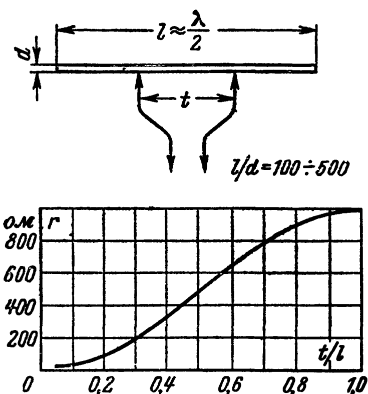


Рис. 25. Входное сопротивление полуволнового линейного неразрезного вибратора в зависимости от положения точек питания.

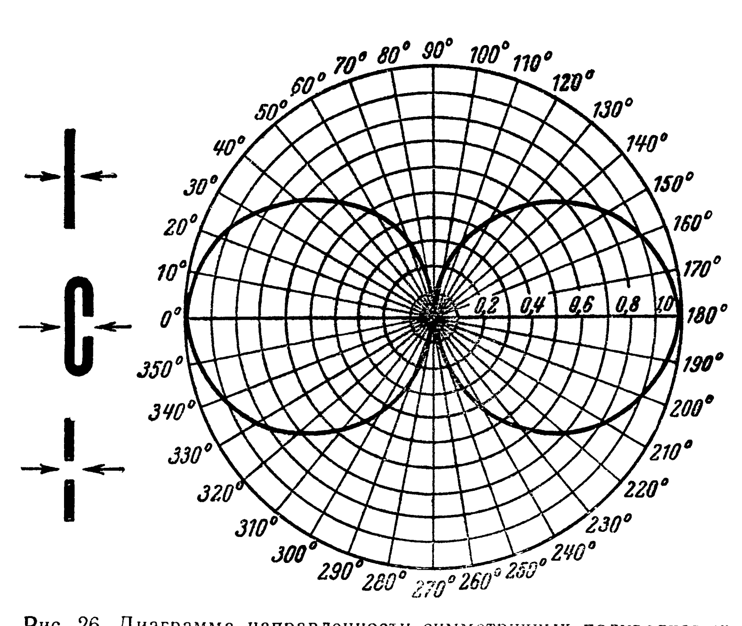


Рис. 26. Диаграмма направленности симметричных полуволновых вибраторов по полю в горизонтальной плоскости.

что дает возможность улучшить согласование. Однако этот способ питания применительно к приемным антеннам конструктивно сложен. В связи с трудностями подключения кабеля снижения линейный неразрезной вибратор используется в качестве приемной телевизионной антенны сравнительно редко.

Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости (рис. 26) представляет собой «восьмерку», коэффициент усиления равен единице (0 *дб*).

Линейный разрезной вибратор (см. рис. 24, *б*), состоящий из двух трубок, разделенных в центре зазором, является одной из распространенных приемных телевизионных антенн.

Точная длина вибратора l для каждого телевизионного канала определяется с учетом коэффициента укорочения по формуле, приведенной выше. Входное сопротивление вибратора на частоте полуволнового резонанса чисто активно и составляет 73 *ом*, что обеспечивает хорошее согласование вибратора с коаксиальным кабелем. Диаграмма направленности вибратора в горизонтальной плоскости (рис. 26) является двухлепестковой и имеет вид «восьмерки». Направление максимального приема перпендикулярно вибратору. Поэтому установку вибратора нужно производить так, чтобы он был перпендикулярен направлению на телевизионный центр. При наличии в месте приема сильного отраженного сигнала целесообразно иногда несколько отклонить вибратор от направления на телевизионный центр с таким расчетом, чтобы направление прихода отраженного сигнала совпало с нулем диаграммы направленности. Уровень основного сигнала при этом снижается незначительно, а уровень отраженного сигнала может быть существенно ослаблен. Диаграмма направленности вибратора в вертикальной плоскости представляет собой окружность.

Диаграмма направленности вибратора, а следовательно, и его коэффициент усиления остаются практически неизменными в широкой полосе частот. Поэтому с точки зрения диаграммы направленности вибратор является очень широкополосной антенной. Ограничение рабочей полосы частот, в которой может быть использован вибратор, происходит из-за того, что на частотах, отличных от резонансной, появляется реактивная составляющая входного сопротивления (индуктивного характера на частотах выше резонансной и емкостного на частотах ниже резонансной). Наличие реактивной составляющей входного сопротивления приводит к уменьшению коэффициента бегущей волны и соответственно к уменьшению отдаваемой мощности. Величина коэффициента бегущей волны в полосе частот зависит от диаметра трубки, из которой изготовлен вибратор. Чем больше диаметр трубки, тем меньше снижается коэффициент бегущей волны при отклонении частоты от резонансной. В связи с этим для расширения рабочей полосы частот вибратора нужно увеличивать диаметр трубок. На практике для изготовления линейных разрезных вибраторов метровых волн обычно используются трубки диаметром от 8 до 30 *мм*. Это обеспечивает получение рабочей полосы частот (по уровню КБВ 0,4—0,5), равной ±10—20% резонансной. Такая полоса частот вполне достаточна для нормальной работы вибратора на любом из каналов с 1-го по 5-й (при соответствующей перестройке), а также при любых сочетаниях каналов с 6-го по 12-й (без перестройки). На дециметровых волнах (каналы 21—40) для изготовления вибратора используются трубки меньшего диаметра — от 4 до 16 *мм*, что необходимо для уменьшения сосредоточенной емкости между торцами трубок, ухудшающей согласование вибратора с кабе-

лем снижения. При этих диаметрах трубок вибратор может работать без перестройки при любых сочетаниях каналов с 21-го по 40-й.

Необходимая длина вибратора *l* для телевизионных каналов метровых волн с учетом укорочения указана в табл. 3, дециметровых волн — в табл. 4. Зазор *t* между внутренними торцами трубок должен составлять 50—70 *мм* на метровых волнах и 20—30 *мм* на дециметровых.

Таблица 3

Размеры полуволнового линейного вибратора метровых волн

Телевизионные каналы или группы каналов		1	2	3	4
Длина вибратора *l*, *мм*, при различных диаметрах трубок *d*, *мм*	8—12	2 810	2 390	1 820	1 660
	12—18	2 790	2 370	1 790	1 630
	18—30	2 770	2 350	1 770	1 610

Телевизионные каналы или группы каналов		5	6—8	9—12	6—12
Длина вибратора *l*, *мм*, при различных диаметрах трубок *d*, *мм*	8—12	1 510	745	640	685
	12—18	1 490	735	630	675
	18—30	1 470	725	620	665

Таблица 4

Размеры полуволнового линейного вибратора дециметровых волн

Группы телевизионных каналов		21—25	26—30	31—35	36—40	21—40
Длина вибратора *l*, *мм*, при различных диаметрах трубок *d*, *мм*	4—8	282	262	244	226	250
	8—16	276	255	238	220	244

Крепление половинок вибратора производится с помощью изоляционных монтажных коробок из гетинакса, текстолита, органического стекла или полистирола. На дециметровых волнах лучше использовать фторопласт, хотя это и не обязательно.

Петлевой вибратор (см. рис. 24, *в*) является наиболее удобной в конструктивном отношении слабонаправленной антенной. Основное достоинство петлевого вибратора состоит в том, что его можно непосредственно крепить к любой мачте, металлической или дере-

вянной, без помощи изоляторов. Крепление производится в середине неразрезанной трубки (точка O), являющейся точкой нулевого потенциала. Входное сопротивление петлевого вибратора на частоте полуволнового резонанса в четыре раза превышает входное сопротивление линейного разрезного вибратора и составляет 292 *ом*.

Увеличение входного сопротивления петлевого вибратора по сравнению с линейным можно объяснить следующим образом. Представим себе, что петлевой вибратор подключен к генератору высокой частоты и используется в качестве передающей антенны. Мощность, излученную этой антенной, можно определить по формуле

$$P = I^2 R,$$

где I — ток на клеммах петлевого вибратора; R — сопротивление на клеммах петлевого вибратора.

Заменим теперь петлевой вибратор линейным. Очевидно, линейный вибратор будет излучать ту же мощность, что и петлевой, если ток на клеммах линейного вибратора будет равен сумме токов в обеих частях (верхней и нижней) петлевого вибратора, т. е. будет равен $2I$. Излученную линейным вибратором мощность можно в этом случае записать следующим образом:

$$P = (2I)^2 r = 4I^2 r,$$

где r — сопротивление на клеммах линейного вибратора, равное 73 *ом*.

Сравнивая оба выражения для излученной мощности, можно видеть, что $R=4\,r=292$ *ом*. Поскольку сопротивление на клеммах антенны остается одним и тем же при ее работе на передачу или прием, то можно заключить, что входное сопротивление приемного петлевого вибратора также равно $4\,r$, т. е. 292 *ом*.

Таблица 5

Размеры полуволнового петлевого вибратора метровых волн

Телевизионные каналы или группы каналов		1	2	3	4
Длина вибратора l, *мм*, при различных диаметрах трубок d, *мм*	8—12	2 760	2 320	1 760	1 600
	12—18	2 740	2 300	1 740	1 580
	18—30	2 720	2 280	1 720	1 560

Продолжение

Телевизионные каналы или группы каналов		5	6—8	9—12	6—12
Длина вибратора l, *мм*, при различных диаметрах трубок d, *мм*	8—12	1 470	725	630	665
	12—18	1 450	715	620	655
	18—30	1 430	700	610	645

Диаграмма направленности петлевого вибратора в горизонтальной плоскости, так же как и линейного вибратора, является двухлепестковой и имеет вид «восьмерки» (см. рис. 26). Ориентировку петлевого вибратора нужно производить с учетом тех же соображений, которые приведены выше применительно к линейному разрезному вибратору.

Изготовление петлевых вибраторов метровых волн (каналы 1—12) производится из трубок диаметром от 8 до 30 *мм*, дециметровых волн (каналы 21—40) — от 4 до 16 *мм* Расстояние *S* между осями трубок выбирается равным 70—100 *мм* на метровых волнах и 30—40 *мм* на дециметровых. Зазор *t* между внутренними торцами трубок равен 50—70 *мм* на метровых волнах и 20—30 *мм* на дециметровых. Длина петлевого вибратора на телевизионных каналах метровых волн указана в табл. 5, дециметровых волн — в табл. 6

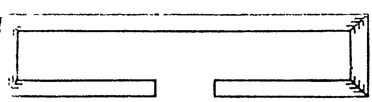


Рис 27 Места сварки петлевого вибратора.

Таблица 6

Размеры полуволнового петлевого вибратора дециметровых волн

Группы телевизионных каналов		21—25	26—30	31—35	35—40	21—40
Длина вибратора *l*, *мм*, при различных диаметрах трубок *d*, *мм*	4—8	275	256	238	220	245
	8—16	270	250	232	214	240

При изготовлении вибратора гибку трубок можно заменить сваркой Места сварки показаны на рис. 27.

Симметрирующе-согласующие устройства

Коаксиальный кабель снижения нельзя непосредственно подключать к симметричным вибраторам, так как это приводит к искажению диаграммы направленности и снижению помехоустойчивости телевизионного приема.

Рассмотрим, что будет происходить, если непосредственно подключить коаксиальный кабель к симметричному вибратору, как показано на рис. 28 (внутренний проводник подключен к одной из трубок вибратора, наружный — к другой). Предположим, что в какой-то момент времени токи в трубках вибратора имеют направления, указанные на рис. 28 стрелками. Ток из левой

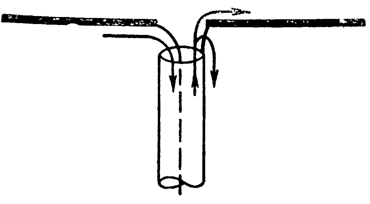


Рис. 28. Непосредственное подключение коаксиального кабеля к симметричному вибратору.

трубки полностью втекает во внутренний проводник кабеля. Ток обратного направления, текущий по внутренней поверхности наружного проводника (оболочки) кабеля, разветвляется между двумя параллельными ветвями. Одна часть тока втекает в правую трубу вибратора, а другая — на внешнюю поверхность оболочки кабеля.

В результате этого токи в левой и в правой трубках вибратора становятся неравными, что нарушает симметрию вибратора и приводит к искажению его диаграммы направленности. Кроме того, внешняя поверхность оболочки начинает работать как самостоятель-

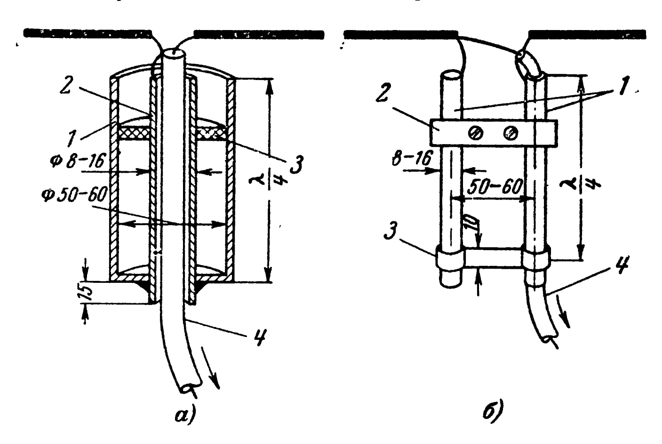


Рис. 29. Симметрирующие трансформаторы на жестких линиях.

а — четвертьволновый стакан; *б* — четвертьволновый мостик.

ная антенна, в результате чего происходит дополнительное искажение диаграммы направленности вибратора. Поскольку сопротивление внешней поверхности оболочки зависит от ряда случайных причин (положения кабеля, его длины и т. д.), то соотношение между величинами и фазами токов в трубках вибратора также становится случайным.

Для того чтобы добиться правильной работы вибратора, т. е. симметрии токов в левой и правой трубках, нужно воспрепятствовать затеканию тока на внешнюю поверхность оболочки кабеля. Это достигается с помощью специальных устройств, называемых симметрирующими трансформаторами.

На рис. 29 показаны два варианта симметрирующих трансформаторов на жестких линиях, применяемых для подключения коаксиального кабеля к линейному разрезному вибратору — четвертьволновый стакан и четвертьволновый мостик.

В четвертьволновый стакан (рис. 29, *а*) входит наружная *1* и внутренняя *2* трубы, опорный изолятор *3* и коаксиальный кабель снижения *4* с волновым сопротивлением 75 *ом*.

Стакан представляет собой концентрическую короткозамкнутую линию, длина которой равна λ/4. Кабель снижения протягивается внутри стакана. Оболочка кабеля подключается к внутренней трубке

стакана и к одной из трубок вибратора (например, к левой), а центральный проводник — к другой трубке вибратора. Входное сопротивление стакана очень велико, что препятствует затеканию тока на внешнюю поверхность оболочки кабеля. Таким образом, стакан создает развязку между вибратором и наружной оболочкой кабеля.

Четвертьволновый мостик (рис. 29, *б*), состоящий из двух трубок *1*, изолятора *2* и короткозамыкающей перемычки *3*, представляет собой двухпроводную короткозамкнутую линию длиной $\lambda/4$, подключенную параллельно трубкам вибратора. Через одну из трубок мостика (например, через правую) протягивается кабель снижения *4* с волновым сопротивлением 75 *ом*. Оболочка кабеля подключается к правой трубке вибратора, центральный проводник — к левой. Если кабель протянуть через левую трубку мостика, то и оболочка должна быть подключена к левой трубке вибратора, а центральный проводник — к правой. Токи, текущие по трубкам мостика, имеют противоположные направления, в связи с чем мостик практически не излучает. Следовательно, принцип действия мостика состоит в том, что излучение тока, вытекающего из внутренней поверхности оболочки кабеля на наружную поверхность одной из трубок мостика, компенсируется противоположным по фазе излучением тока, текущего по другой трубке мостика. С точки зрения симметрии токов в трубках вибратора длина мостика особого значения не имеет. Однако ее следует выбрать равной $\lambda/4$, так как в противном случае мостик будет шунтировать вибратор, что приведет к ухудшению коэффициента бегущей волны в кабеле снижения.

Длина стакана и мостика выбирается равной $\lambda/4$ на средней частоте телевизионного канала. Если же вибратор рассчитан на работу в нескольких каналах, то длина стакана и мостика должна быть равна $\lambda/4$ на средней частоте этой группы каналов.

Пример. Определить длину мостика $l_м$ для линейного разрезного вибратора 3-го канала ($f_{ср}=80$ *Мгц*).

1. Определяем длину волны в метрах, соответствующую средней частоте 3-го канала:

$$\lambda = \frac{300}{f\,(Мгц)} = \frac{300}{80} = 3{,}75\ м.$$

2 Определяем длину мостика:

$$l_м = \frac{\lambda}{4} = \frac{3{,}75}{4} = 0{,}94\ м.$$

Стакан и мостик работают в полосе частот ± 15—20% относительно средней частоты. Однако их допустимо использовать и в несколько более широкой полосе частот — до ± 30—35%.

Для линейного разрезного вибратора помимо описанных симметрирующих трансформаторов на жестких линиях могут быть применены трансформаторы на отрезках коаксиального кабеля. Два варианта таких трансформаторов показаны на рис. 30.

Симметрирующий трансформатор рис. 30, *а* представляет собой четвертьволновый мостик на отрезках коаксиального кабеля. Роль трубок мостика играют оболочки кабелей. Оболочка кабеля снижения *1* припаивается к одной трубке вибратора, а оболочка кабеля *2* — к другой. Центральный проводник кабеля снижения *1* припаивается к той же трубке, к которой припаяна оболочка кабеля 2.

На расстоянии $\lambda/4$ от вибратора оболочки кабелей *1* и *2* припаиваются друг к другу, образуя четвертьволновый короткозамкнутый мостик. Центральный проводник кабеля *2* на обоих концах этого кабеля можно либо срезать заподлицо и оставить разомкнутым, либо спаять с оболочками. Пайку оболочек кабелей *1* и *2* друг к другу лучше производить легкоплавким припоем во избежание оплавления изоляции. Для обеспечения параллельности кабелей нужно установить между ними изоляционные распорки *3*. Вместо установки распорок можно закрепить кабели параллельно друг другу на изоляционной пластине. Диапазонные свойства трансформатора такие же, как у трансформаторов на жестких линиях (рис. 29).

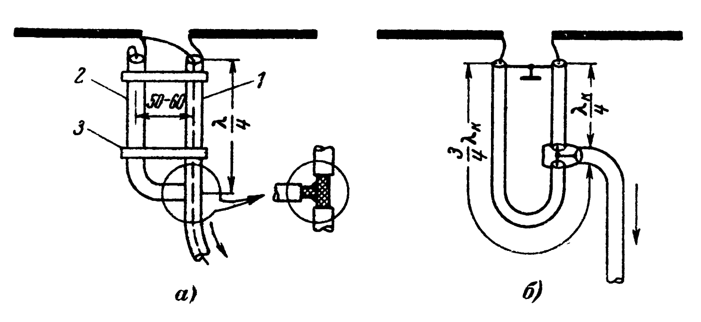


Рис 30 Симметрирующие трансформаторы на отрезках коаксиальных кабелей.

а — четвертьволновый мостик из коаксиального кабеля; *б* — U-колено из коаксиального кабеля.

Симметрирующий трансформатор рис. 30, *б* выполнен в виде U-колена из коаксиального кабеля. Разность длин кабелей, образующих U-колено, составляет половину длины волны в кабеле $\lambda_к/2$. При этом напряжения на входных зажимах вибратора равны по величине и противоположны по фазе, что обеспечивает симметрию возбуждения вибратора. Токи, текущие по вибратору, на внешнюю поверхность оболочки кабеля не затекают, так как трубки вибратора не имеют непосредственного контакта с оболочками. Оболочки кабелей нужно между собой спаять. Полосовые свойства описанного U-колена несколько хуже, чем у стакана и мостика. Нормальная работа U-колена обеспечивается в полосе частот $\pm 10-12\%$ относительно средней частоты

Симметрирование петлевых вибраторов производится с помощью U-колена из коаксиального кабеля длиной $\lambda_к/2$ (рис. 31). Особенность полуволнового U-колена состоит в том, что оно обеспечивает не только симметрирование петлевого вибратора, но и согласование его входного сопротивления (292 *ом*) с волновым сопротивлением кабеля снижения (75 *ом*). Принцип симметрирования петлевого вибратора с помощью полуволнового U-колена аналогичен описанному выше принципу симметрирования линейного вибратора. Полуволновый кабель U-колена вносит сдвиг фаз, равный 180°. В связи с этим напряжения на входных зажимах петлевого вибратора относительно точки нулевого потенциала (точка *О* на рис. 31) имеют противопо-

ложные фазы, что обеспечивает симметрию токов в левой и правой частях вибратора. На внешнюю поверхность оболочки кабеля токи не затекают, так как оболочка изолирована от вибратора. Согласование с помощью U-колена происходит следующим образом. Сопротивление между каждым зажимом петлевого вибратора и точкой нулевого потенциала равно половине входного сопротивления и составляет 146 *ом*. Полуволновый кабель U-колена пересчитывает сопротивление 146 *ом* без изменения его величины в точку подключения кабеля снижения. В этой точке оба сопротивления по 146 *ом* каждое оказываются включенными параллельно. Общее сопротивление на конце кабеля составляет, таким образом, 73 *ом*, что обеспечивает хорошее согласование кабеля с вибратором. Оболочки кабелей U-колена и снижения нужно между собой спаять. Полоса частот, в которой может работать U-колено, составляет примерно ±15%. Длина U-колена петлевого вибратора для каналов с 1-го по 12-й и с 21-го по 40-й приведена в табл. 7.

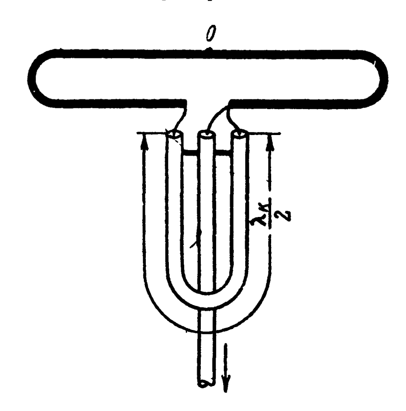


Рис. 31. Симметрирование петлевого вибратора с помощью полуволнового U-колена. Все кабели — с волновым сопротивлением 75 *ом*.

Таблица 7

Длина симметрирующего U-колена для полуволнового петлевого вибратора

Телевизионные каналы или группы каналов	1	2	3	4	5	6—8
Длина U-колена, *мм*	1 900	1 600	1 240	1 120	1 030	530

Телевизионные каналы или группы каналов	9—12	6—12	21—25	26—30	31—35	36—40	21—40
Длина U-колена, *мм*	460	490	200	185	173	162	180

Широкополосные полуволновые вибраторы

Для расширения рабочей полосы частот линейного полуволнового вибратора нужно изготовить его из трубы большого диаметра. Входное сопротивление вибратора большого диаметра меняется в полосе частот сравнительно мало и остается близким к сопротивлению на частоте полуволнового резонанса Постоянство входного сопротивления позволяет сохранить хорошее согласование вибратора с кабелем снижения в широкой полосе частот. Недостатком «толстых» вибраторов является значительный вес, сложность крепления и установки Этих недостатков можно в известной мере избежать, если вместо трубы большого диаметра применить несколько тонких трубок, расположенных либо по образующим цилиндра большого диаметра (диполь Надененко), либо параллельно друг другу в одной плоскости (плоскостные вибраторы с большим эквивалентным диаметром)

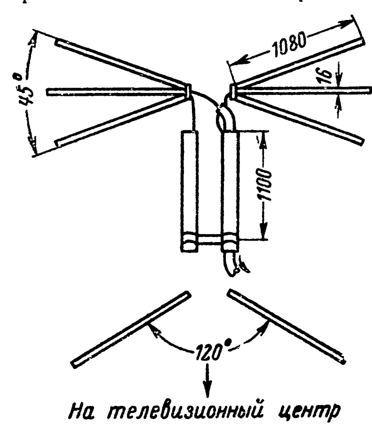


Рис. 32. Широкополосный веерный вибратор на каналы с 1-го по 12-й. Кабель снижения — с волновым сопротивлением 75 *ом*.

При использовании цилиндрических и плоскостных вибраторов с большим эквивалентным диаметром в качестве приемных телевизионных антенн метровых волн возникают некоторые трудности, связанные с тем, что в месте подключения кабеля снижения возникает значительная неоднородность (резкий переход от кабеля к вибратору большого сечения). Для обеспечения высокого коэффициента бегущей волны в кабеле нужно подключать его через специальные согласующие устройства. Поэтому на метровых волнах удобнее применять широкополосные вибраторы, диаметр которых плавно возрастает по мере удаления от середины вибратора к его концам. Такие вибраторы выполняют из двух конусов, обращенных вершинами друг к другу, и называют биконическими.

Простейшей разновидностью биконического вибратора является так называемый веерный вибратор (рис. 32), каждая половина которого состоит из нескольких трубок, расположенных в одной плоскости и расходящихся под некоторым углом друг к другу. Веерный вибратор работает на каналах 1—5 в полосе частот 48,5—100 *Мгц* и на каналах 6—12 в полосе частот 174—230 *Мгц*, т. е. на всех 12 каналах метровых волн. Длина вибратора составляет примерно $\lambda/2$ на средней частоте каналов 1—5 и $3\lambda/2$ на средней частоте каналов 6—12. Таким образом, на каналах 6—12 вибратор работает на третьей пространственной гармонике. В этом режиме входное сопротивление вибратора близко к его сопротивлению при полуволновом резонансе, что обеспечивает достаточно хорошее согласование с кабелем снижения Как видно из рис. 32, угол между плоскостями, в

которых расположены трубки вибратора, составляет 120° (наклон в сторону телевизионного центра). Необходимость такого наклона связана со следующими обстоятельствами. Диаграмма направленности линейного вибратора в горизонтальной плоскости при длине вибратора, равной $\lambda/2$, представляет собой «восьмерку». На каналах 6—12, т. е. при длине вибратора, равной $3\lambda/2$, диаграмма направленности искажается: основные лепестки диаграммы раздваиваются и в направлении на телевизионный центр в диаграмме появляется провал. Для «исправления» диаграммы, т. е. для устранения провала, производится наклон плоскостей, в которых расположены трубки вибратора. При этом не только устраняется провал в переднем лепестке «восьмерки», но и снижается уровень ее заднего лепестка, в результате чего вибратор на каналах 6—12 становится более направленным, чем на каналах 1—5.

Коэффициент усиления широкополосного веерного вибратора по полю равен единице (0 *дб*) на каналах 1—5 и 1,15 (1,3 *дб*) на каналах 6—12. Коэффициент бегущей волны в кабеле снижения с волновым сопротивлением 75 *ом* составляет на краях рабочей полосы частот 0,3—0,4. Длина симметрирующего короткозамкнутого мостика равна $\lambda/4$ на средней частоте каналов 1—5 и $3\lambda/4$ на каналах 6—12.

На дециметровых волнах (каналы 21—40) вся полоса частот может быть перекрыта с помощью обычных линейных или петлевых вибраторов. Специальные широкополосные вибраторы дециметровых волн, состоящие из двух треугольных пластин, применяются в основном в качестве активного вибратора многоэлементных направленных антенн типа «волновой канал».

Глава 5

НАПРАВЛЕННЫЕ НАРУЖНЫЕ АНТЕННЫ

Направленные антенны используются для приема телевизионных передач на расстояниях свыше 40—50 *км* от телевизионного центра, а также при значительном уровне помех и отраженных сигналов в месте приема. Основными разновидностями направленных приемных антенн являются антенны типа «волновой канал» и логопериодические. В радиолюбительской практике применяются иногда и другие типы направленных антенн — рамочные и зигзагообразные антенны с рефлектором, контурно-щелевые, уголковые и т. д.

Наиболее распространенными направленными антеннами являются антенны типа «волновой канал». Эти антенны обладают большим коэффициентом усиления и просты в изготовлении. Логопериодические антенны устроены более сложно и имеют при тех же габаритах, что и антенны типа «волновой канал», меньший коэффициент усиления. Однако логопериодические антенны значительно широкополоснее, что позволяет использовать их в большем интервале частот на метровых и дециметровых волнах.

Принцип действия антенны типа «волновой канал»

Антенна типа «волновой канал» состоит из ряда вибраторов, расположенных в общей плоскости: полуволнового петлевого или ли-

нейного вибратора, к которому подключен кабель снижения (активный вибратор), рефлектора и директоров (пассивные вибраторы). На рис. 33 показана для примера антенна типа «волновой канал» из пяти вибраторов — активного вибратора *1*, рефлектора *2* и трех директоров *3*. Каждый вибратор антенны, активный или пассивный, называют элементом, поэтому антенна, изображенная на рис. 33, называется пятиэлементной

Рассмотрим принцип действия антенны типа «волновой канал». При этом будем считать для удобства изложения, что антенна работает в качестве передающей. Поскольку направленные свойства ан-

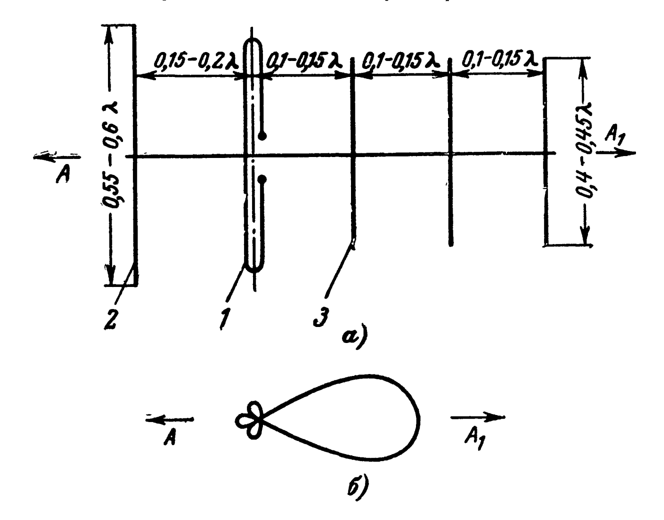


Рис. 33. Антенна типа «волновой канал».
а — антенна; *б* — диаграмма направленности.

тенн остаются одними и теми же независимо от того, работает ли антенна на передачу или прием, то все сказанное далее о направленных свойствах антенны в режиме передачи в равной мере относится и к случаю ее работы в качестве приемной.

Обратимся к пятиэлементной антенне типа «волновой канал», изображенной на рис. 33. Если активный полуволновый вибратор *1* подключить к источнику высокочастотных колебаний, то этот вибратор, имеющий симметричную диаграмму направленности в виде «восьмерки», будет излучать электромагнитную энергию как в направлении *A* (в сторону рефлектора), так и в направлении A_1 (в сторону директоров). Под воздействием электромагнитной энергии, излученной активным вибратором в направлении *A*, в рефлекторе наведутся токи, являющиеся источником вторичного излучения. Длина рефлектора и его расстояние до активного вибратора подобраны таким образом, что излучение рефлектора ослабляет излучение активного вибратора в направлении *A* и усиливает его в направлении A_1. Рефлектор служит, таким образом, экраном, усиливающим излучение в одном направлении за счет его

ослабления в другом. Для получения эффекта экранирования нужно, чтобы ток, текущий по рефлектору, опережал по фазе ток, текущий по активному вибратору. Это достигается путем регулировки активной составляющей сопротивления рефлектора, которая производится обычно подбором его длины. Требуемая длина рефлектора на 5—10% превышает половину длины волны.

Амплитуда тока в рефлекторе несколько меньше, чем в активном вибраторе. Поэтому компенсация излучения в направлении A получается неполной Часть энергии, излученной активным вибратором, «просачивается» через рефлектор, что является причиной появления задних и боковых лепестков диаграммы направленности. Другая причина появления этих лепестков состоит в том, что на практике трудно обеспечить точную фазировку токов в рефлекторе и активном вибраторе. При настройке антенны уровень лепестков стремятся свести к минимуму.

Усилению излучения антенны в сторону A_1 способствуют директоры, которые возбуждаются, как и рефлектор, под воздействием электромагнитного поля излучения активного вибратора и подбираются так, что излучение директоров складывается в направлении A_1 с излучением активного вибратора. Для правильной работы директоров нужно, чтобы ток в первом директоре отставал по фазе от тока в активном вибраторе, во втором директоре — от тока в первом директоре и т. д. Подбор нужных фаз токов производится изменением длины директоров и их расстояний до активного вибратора. Наиболее благоприятные соотношения между амплитудами и фазами токов, способствующие максимальной концентрации излучения в направлении A_1, получаются обычно при постепенном уменьшении длин директоров в направлении от активного вибратора. Направленное излучение антенны типа «волновой канал» формируется, таким образом, совместным действием рефлектора и директоров.

Рассмотрим вопрос о выборе числа рефлекторов и директоров в антеннах типа «волновой канал». Как правило, в этих антеннах используется только один рефлектор. Применение второго рефлектора практически не улучшает направленных свойств антенны. Это объясняется тем, что электромагнитное поле позади первого рефлектора сильно ослаблено и амплитуда тока во втором рефлекторе получается очень малой. В связи с этим излучение второго рефлектора не вносит заметной доли в общее излучение антенны в направлении директоров Влияние второго рефлектора может сказываться лишь в некотором уменьшении уровня задних и боковых лепестков диаграммы направленности. Поэтому установка второго рефлектора целесообразна только в тех случаях, когда ставятся особенно высокие требования к ослаблению уровня лепестков.

Иначе обстоит дело с количеством директоров в антенне. Добавление каждого нового директора улучшает направленные свойства антенны и увеличивает ее коэффициент усиления. Однако чем больше директоров имеет антенна, тем меньше сказывается на ее направленных свойствах добавление каждого нового директора. Так, например, если к трехэлементной антенне (активный вибратор, рефлектор и один директор) добавить один директор, то ее коэффициент усиления увеличится примерно с 5 до 6,5—7 *дб*, т. е. на 1,5—2 *дб* (на 18—25% по напряжению). Если же добавить один директор к десятиэлементной антенне (активный вибратор, рефлектор и восемь директоров), то ее коэффициент усиления возрастает только на 0,4—0,5 *дб*. При выборе числа директоров нужно учитывать еще

и следующие обстоятельства. Увеличение числа директоров приводит к уменьшению полосы пропускания антенны. Если считать допустимым снижение коэффициента усиления на краях полосы на 1,5—2 *дб* относительно коэффициента усиления на средней частоте, то рабочая полоса частот антенны, имеющей четыре-пять директоров (шести-семиэлементная антенна), составляет ±10—15% средней частоты. При числе директоров, равном 9—10, рабочая полоса частот уменьшается до ±5—6% средней частоты.

В процессе настройки антенн типа «волновой канал» специальным выбором расположения и длин директоров можно добиться получения более широкой полосы пропускания. Расширение полосы пропускания достигается, однако, за счет снижения среднего коэффициента усиления. Одиннадцатиэлементная антенна, например, настроенная на 8-й канал ($f = 190 \div 198$ *Мгц*), имеет средний коэффициент усиления около 12 *дб*, а настроенная на каналы с 6-го по 12-й ($f = 174 \div 230$ *Мгц*) — около 9—10 *дб*.

В практике на каналах с 1-го по 5-й применяют антенны с числом директоров от 1 до 5 (трех-семиэлементные антенны), на каналах с 6-го по 12-й — от 1 до 9 (трех-одиннадцатиэлементные антенны). На дециметровых волнах на каналах 21—40 используются антенны с числом директоров от 5—7 до 16—20.

Для приема телевизионных передач на больших расстояниях от телевизионного центра (дальний прием) применяются антенны типа «волновой канал» с повышением коэффициентом усиления. Значительное повышение коэффициента усиления достигается обычно не чрезмерным увеличением числа директоров, а использованием нескольких антенн, включенных синфазно — так называемых синфазных решеток в виде многоэтажных антенн. Такой способ увеличения коэффициента усиления является благоприятным еще и в том отношении, что при синфазном включении антенн практически не происходит ухудшения частотной характеристики по коэффициенту усиления.

Размеры антенн типа «волновой канал» в долях длин волн, показанные на рис 33, могут служить лишь для ориентировочного определения длин вибраторов и расстояний между ними. Точные размеры антенн могут быть определены только в результате тщательной экспериментальной настройки. Приведенные в следующем параграфе размеры антенн типа «волновой канал» для метровых и дециметровых волн получены экспериментальным путем.

Практические разновидности антенн типа «волновой канал» метровых и дециметровых волн

Для приема телевизионных передач на метровых волнах чаще всего применяются следующие разновидности антенн типа «волновой канал». на каналах с 1-го по 5-й ($f = 48{,}5 \div 100$ *Мгц*) — трех-, пяти- и семиэлементные антенны, на каналах с 6-го по 12-й ($f = 174 \div 230$ *Мгц*) — трех-, пяти-, семи- и одиннадцатиэлементные антенны. Схемы расположения вибраторов антенн метровых волн показаны на рис. 34. В качестве активного вибратора обычно используется петлевой, так как его можно крепить к несущей стреле без изоляторов в середине неразрезанной трубки. Рефлектор может быть как одиночным, так и сдвоенным. Сдвоенный рефлектор состоит из двух трубок, разнесенных в вертикальной плоскости симметрично от-

носительно стрелы. Применение сдвоенного рефлектора позволяет уменьшить уровень задних и боковых лепестков диаграммы направленности, а также расширить полосу частот, в которой антенна сохраняет направленные свойства.

На каналах с 1-го по 5-й трехэлементные антенны используются на расстоянии 40—60 *км* от телевизионного центра, пятиэлементные—

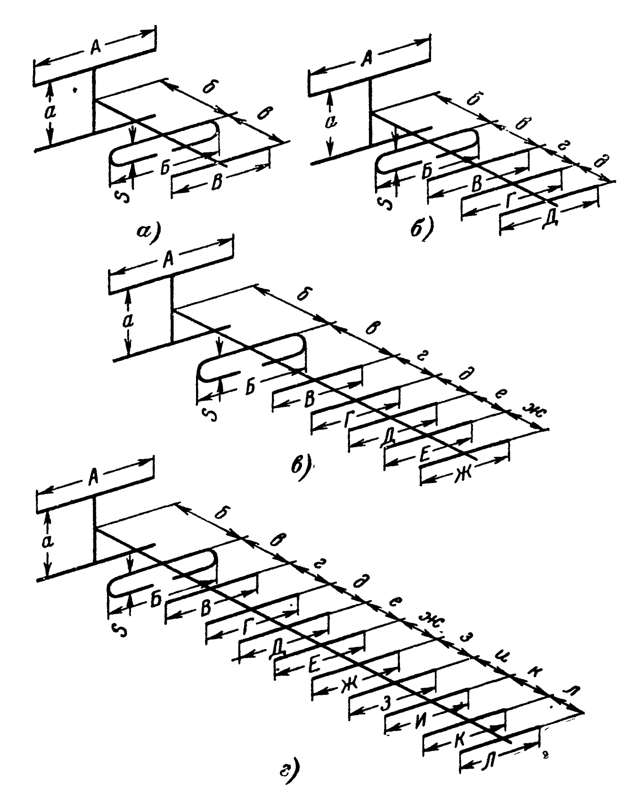


Рис. 34. Антенны типа «волновой канал» метровых волн.

а — трехэлементная; *б* — пятиэлементная; *в* — семиэлементная; *г* — одиннадцатиэлементная.

60—70 *км*, семиэлементные — 70—90 *км*. На каналах с 6-го по 12-й трехэлементные антенны применяют на расстоянии 40—50 *км*, пятиэлементные — 50—60 *км*, семиэлементные — 60—70 *км*, одиннадцатиэлементные — 70—80 *км*. Эти расстояния являются средними. Дальность приема на антенну с тем или иным количеством элементов может меняться в зависимости от мощности передатчика телевизионного центра и рельефа местности. При большой мощности передатчи-

ка и установке антенны на возвышенных местах дальность приема в ряде случаев превышает указанную выше.

На дециметровых волнах на каналах с 21-го по 40-й ($f = 470 \div 630$ *Мгц*) применяются более направленные антенны — семи-, одиннадцати- и шестнадцатиэлементные. Необходимость использования на дециметровых волнах антенн с большей направленностью, чем на метровых, объясняется следующими обстоятельствами. Длина волны электромагнитных колебаний на дециметровых волнах меньше, чем на метровых С уменьшением длины волны уменьшается действующая длина активного вибратора антенны. Следовательно,

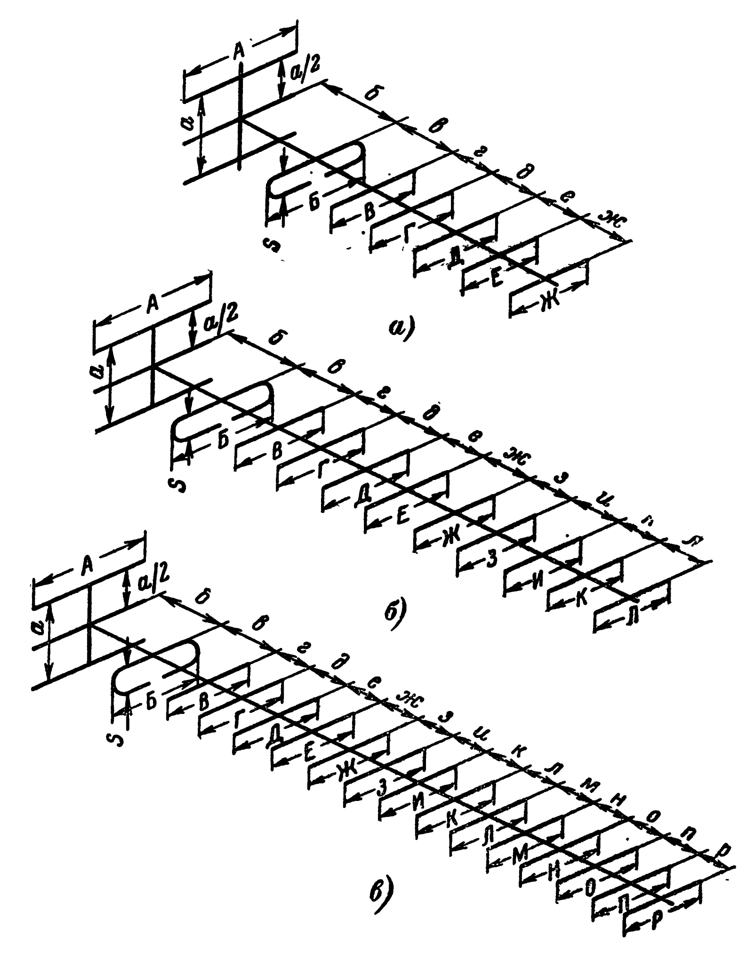


Рис. 35. Антенны типа «волновой канал» дециметровых волн.

а — семиэлементная, *б* — одиннадцатиэлементная; *в* — шестнадцатиэлементная.

при использовании на метровых и дециметровых волнах антенн с одинаковым коэффициентом усиления напряжение на входе телевизионного приемника получается на дециметровых волнах меньшим, чем на метровых. Для того чтобы скомпенсировать проигрыш в напряжении за счет уменьшения действующей длины активного вибратора, нужно применять на дециметровых волнах антенны с большей величиной коэффициента усиления. На расстояниях 30—50 *км* от телевизионного центра используются семиэлементные антенны, 50—70 *км* — одиннадцатиэлементные, 70—90 *км* — шестнадцатиэлементные.

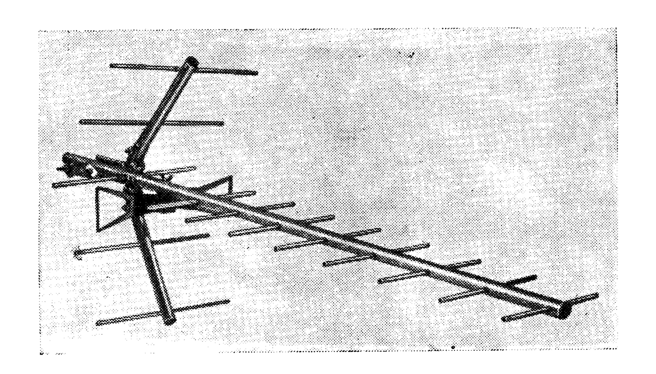


Рис. 36. Внешний вид многоэлементной антенны типа «волновой канал» дециметровых волн.

Схемы расположения вибраторов антенн дециметровых волн показаны на рис. 35. Для уменьшения уровня задних и боковых лепестков рефлекторы этих антенн выполняются строенными — одна трубка рефлектора располагается в той же плоскости, что и остальные вибраторы, а две другие разнесены в вертикальной плоскости симметрично относительно стрелы. На дециметровых волнах для более сильного подавления задних и боковых лепестков иногда применяют уголковые рефлекторы, состоящие из 5—7 трубок. На рис. 36 показан внешний вид многоэлементной антенны дециметровых волн с уголковым рефлектором, состоящим из 5 трубок. В этой антенне в качестве активного элемента применен не петлевой вибратор, а широкополосный разрезной.

Размеры и электрические параметры многоэлементных антенн типа «волновой канал» метровых и дециметровых волн на каналы с 1-го по 12-й и с 21-го по 40-й указаны в табл. 8—12.

Буквенные обозначения размеров в этих таблицах соответствуют схемам расположения вибраторов на рис. 34 и 35. Размеры, указанные в таблицах против группы телевизионных каналов, могут быть использованы для изготовления антенн, работающих без перестройки на любом из каналов этой группы. Антенны типа «волновой канал» рекомендуется изготовлять из труб следующих диаметров:

а) несущая стрела: 30—35 *мм* на каналах с 1-го по 5-й, 18—22 *мм* на каналах с 6-го по 12-й, 14—16 *мм* на каналах с 21-го по 40-й;

Таблица 8

Размеры и параметры трехэлементных антенн на каналы 1—12

Телевизионные каналы		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	6—12
Размеры, *мм*	А	3 040	2 580	2 000	1 820	1 660	900	860	825	795	765	730	705	830
	Б	2 710	2 300	1 780	1 620	1 480	795	765	735	705	680	650	630	640
	В	2 360	2 000	1 550	1 410	1 290	695	665	640	615	590	570	550	620
	а	800	800	800	800	800	550	550	550	550	550	550	550	550
	б	880	750	580	530	480	260	250	240	230	225	215	205	275
	в	595	505	390	355	325	175	170	165	155	150	145	140	110
	S	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Коэффициент усиления *K* (*дб*)		5,0	5,0	5,5	5,5	5,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	4,5
Угол раствора основного лепестка φ, *град*		66	66	64	64	64	60	60	60	60	60	60	60	68
Уровень задних и боковых лепестков γ (*дб*)		—15	—15	—15	—15	—15	—17	—17	—17	—17	—17	—17	—17	—14

Таблица 9

Размеры и параметры пятиэлементных антенн на каналы 1—12

Размеры, мм, и параметры	Телевизионные каналы												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	6—12
А	3150	2660	2035	1830	1680	915	880	840	810	780	750	720	830
Б	2780	2350	1800	1620	1490	810	780	740	715	690	660	635	630
В	2520	2135	1630	1470	1350	730	705	670	650	625	600	575	620
Г	2510	2125	1620	1460	1340	725	700	665	645	620	595	570	580
Д	2450	2070	1580	1420	1300	710	680	650	625	600	585	550	550
а	800	800	800	800	800	550	550	550	550	550	550	550	550
б	1210	1040	780	700	645	350	340	325	310	295	285	270	275
в	735	625	475	425	390	215	205	195	190	180	175	170	110
г	705	595	455	410	375	205	195	190	180	175	170	160	220
д	750	630	480	430	395	215	205	195	190	180	175	170	345
S	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Коэффициент усиления *К*, дБ	8,0	8,0	8,5	8,5	8,5	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	6,5
Угол раствора основного лепестка φ, град	54	54	52	52	52	48	48	48	48	48	48	48	56
Уровень задних и боковых лепестков γ, дБ	—16	—16	—16	—16	—16	—18	—18	—18	—18	—18	—18	—18	—14

Размеры и параметры семиэлементных

Телевизионные каналы		1	2	3	4	5	6	7
Размеры, *мм*	А	3 220	2 730	2 120	1 920	1 760	925	885
	Б	2 760	2 340	1 810	1 650	1 510	710	680
	В	2 200	1 870	1 450	1 320	1 200	700	670
	Г	2 180	1 850	1 430	1 300	1 190	655	625
	Д	2 160	1 830	1 415	1 290	1 180	620	595
	Е	2 130	1 810	1 400	1 270	1 160	565	540
	Ж	2 105	1 790	1 380	1 260	1 150	520	500
	а	800	800	800	800	800	550	550
	б	1 080	910	710	645	590	310	295
	в	415	350	275	250	225	125	120
	г	810	685	530	485	445	245	235
	д	845	715	560	505	460	385	370
	е	870	735	570	520	475	400	385
	ж	905	765	595	540	495	425	405
	S	100	100	100	100	100	100	100
Коэффициент усиления *K* (*дб*)		9,5	9,5	10,0	10,0	10,0	10,5	10,5
Угол раствора основного лепестка φ, *град*		48	48	46	46	46	44	44
Уровень задних и боковых лепестков γ (*дб*)		—18	—18	—18	—18	—18	—20	—20

б) вибраторы: 18—22 *мм* на каналах с 1-го по 5-й, 10—14 *мм* на каналах с 6-го по 12-й, 6—12 *мм* на каналах с 21-го по 40-й.

Крепление стрелы с вибраторами к мачте лучше производить в центре тяжести стрелы. В многоэлементных антеннах для уменьшения прогиба стрелы нужно установить подкосы. Подключение кабеля снижения с волновым сопротивлением 75 *ом* к активному петлевому вибратору должно производиться через U-колено по схеме рис. 31. Размеры U-колена указаны в табл. 7.

Синфазные антенны типа «волновой канал»

Прием телевизионных передач на расстояниях свыше 80—100 *км* от телевизионного центра производится с помощью синфазных антенн, представляющих собой комбинацию нескольких антенн типа «волновой канал», разнесенных по вертикали или горизонтали и подключенных параллельно к общему кабелю снижения. Синфазная ан-

Таблица 10

антенн на каналы 1—12, 21—40

8	9	10	11	12	6—12	21—25	26—30	31—35	36—40	21—40
850	815	785	755	730	830	377	348	324	303	336
650	625	600	580	560	665	308	284	264	247	274
640	620	595	570	555	630	293	270	252	235	261
600	575	555	535	515	590	290	267	249	232	258
570	545	525	505	485	555	287	264	246	229	255
520	500	480	460	445	515	283	260	243	226	252
480	460	440	425	410	470	279	257	240	223	249
550	550	550	550	550	550	240	240	240	240	240
285	275	265	255	245	260	140	129	120	112	125
115	110	105	100	95	110	72	67	62	58	64
225	215	205	200	190	220	92	85	79	74	82
355	340	325	315	305	345	104	96	89	83	92
370	350	330	325	320	365	121	112	104	97	104
390	375	360	345	335	385	132	122	113	105	117
100	100	100	100	100	100	40	40	40	40	40
10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	8,0	10,0	10,0	10,0	10,0	7,5
44	44	44	44	44	50	46	46	46	46	50
—20	—20	—20	—20	—20	—14	—18	—18	—18	—18	—12

тенна имеет больший коэффициент усиления, чем одиночная, и позволяет увеличить напряжение на входе телевизионного приемника. Простейшая синфазная антенна, состоящая из двух антенн типа «волновой канал», разнесенных по вертикали (двухэтажная антенна), показана на рис. 37. Определим на примере этой антенны, какой выигрыш в коэффициенте усиления можно получить, используя синфазные антенны вместо одиночных. Для удобства изложения будем считать, что антенна работает не в режиме приема, а в режиме передачи, как это мы делали ранее, рассматривая принцип действия антенны типа «волновой канал».

Предположим, что на мачте сначала установлена только одна антенна и к ней подведена мощность P от генератора высокой частоты. Под воздействием излучения антенны в пространстве возникнет электромагнитное поле. Пусть напряженность поля на определенном расстоянии R от антенны в направлении максимума главного лепестка диаграммы направленности равна E. Установим далее на мачте вместо одной антенны две, как показано на рис. 37, и подклю-

Таблица 11

Размеры и параметры одиннадцатиэлементных антенн на каналы 6—12 и 21—40

Телевизионные каналы		6	7	8	9	10	11	12	6—12	21—25	26—30	31—35	36—40	21—40
Размеры, *мм*	А	850	810	780	750	720	695	670	830	377	348	324	303	336
	Б	740	710	680	655	630	605	580	665	308	284	264	247	274
	В	730	700	670	645	620	595	570	630	293	270	252	235	261
	Г	700	670	640	615	590	570	550	590	290	267	249	232	258
	Д	690	660	635	610	585	565	545	555	287	264	246	229	255
	Е	680	650	625	600	575	555	535	515	283	260	243	226	252
	Ж	670	640	615	590	565	545	525	470	279	257	240	223	249
	З	645	620	590	570	550	530	510	445	276	254	237	220	246
	И	645	620	590	570	550	530	510	420	272	251	234	217	243
	К	645	620	590	570	550	530	510	405	269	248	231	214	240
	Л	645	620	590	570	550	530	510	395	265	245	228	210	237
	а	550	550	550	550	550	550	550	550	240	240	240	240	240
	б	420	400	385	370	355	340	325	260	140	129	120	112	125
	в	210	195	185	180	170	165	160	110	72	67	62	58	64
	г	385	370	355	340	325	315	305	220	92	85	79	74	82

Продолжение табл. 11

Телевизионные каналы		6	7	8	9	10	11	12	6—12	21—25	26—30	31—35	36—40	21—40
Размеры, *мм*	д	510	490	470	450	430	415	400	345	104	96	89	83	92
	е	315	305	290	280	270	260	250	365	121	112	104	97	104
	ж	425	405	390	375	360	345	330	385	132	122	113	105	117
	з	360	345	335	320	305	295	285	405	133	123	114	106	118
	и	505	480	460	445	426	410	395	425	134	124	115	107	119
	к	415	395	380	365	350	335	320	450	136	126	117	109	121
	л	435	420	400	385	370	355	340	480	137	127	118	110	122
	S	100	100	100	100	100	100	100	100	40	40	40	40	40
Коэффициент усиления *K* (*дб*)		12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	9,0	11,5	11,5	11,5	11,5	8,5
Угол раствора основного лепестка φ, *град*		38	38	38	38	38	38	38	42	40	40	40	40	42
Уровень задних и боковых лепестков γ (*дб*)		—22	—22	—22	—22	—22	—22	—22	—18	—20	—20	—20	—20	—16

Таблица 12

Размеры и параметры шестнадцатиэлементных антенн на каналы 21—40

Телевизионные каналы		21—25	26—30	31—35	36—40	21—40
Размеры, *мм*	А	377	348	324	303	336
	Б	308	284	264	247	274
	В	293	270	252	235	261
	Г	290	267	249	232	258
	Д	287	264	246	229	255
	Е	283	260	243	226	252
	Ж	279	257	240	223	249
	З	276	254	237	220	246
	И	272	251	234	217	243
	К	269	248	231	214	240
	Л	265	245	228	210	237
	М	262	242	225	207	234
	Н	259	239	222	204	231
	О	256	236	219	200	228
	П	253	233	216	197	225
	Р	250	231	213	194	223
	а	240	240	240	240	240
	б	140	129	120	112	125
	в	72	67	62	58	64
	г	92	85	79	74	82
	д	104	96	89	83	92
	е	121	112	104	97	104
	ж	132	122	113	105	117
	з	133	123	114	106	118
	и	134	124	115	107	119
	к	136	126	117	109	121
	л	137	127	118	110	122
	м	138	128	119	111	123
	н	139	129	120	112	124
	о	140	130	121	113	125
	п	141	131	122	114	126
	р	142	132	123	115	127
	S	40	40	40	40	40
Коэффициент усиления K (*дб*)		13,5	13,5	13,5	13,5	10,5
Угол раствора основного лепестка φ, *град*		32	32	32	32	36
Уровень задних и боковых лепестков γ (*дб*)		—22	—22	—22	—22	—18

чим эти антенны к кабелю снижения параллельно, соединив их так, чтобы они возбуждались синфазно. Теперь мощность P, поступающая от генератора, распределится поровну между антеннами и каждая антенна будет излучать мощность $P/2$. Поскольку напряженность

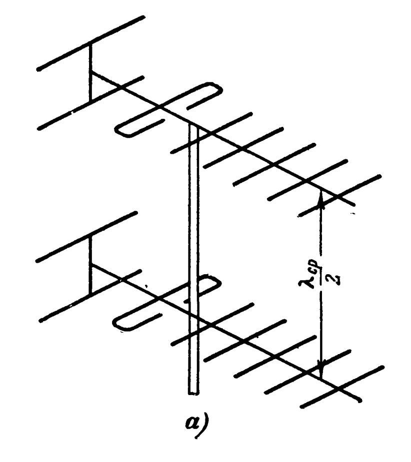
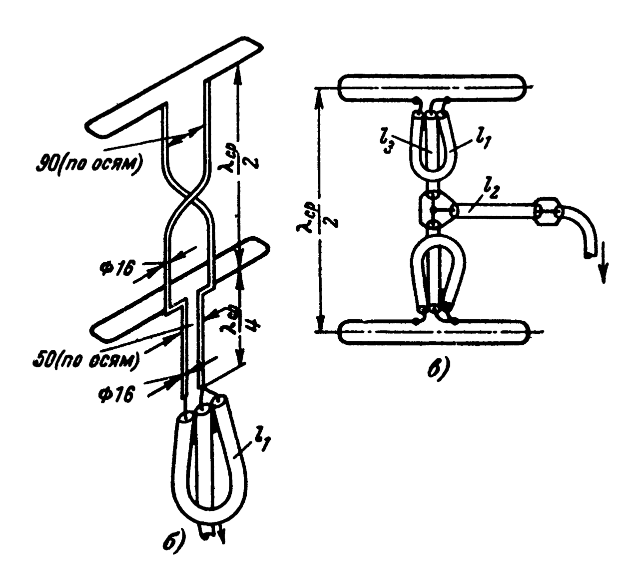


Рис. 37. Двухэтажная синфазная антенна типа «волновой канал»

а — расположение антенн на мачте; *б, в* — варианты схем междуэтажных соединений. Кабели l_1 и l_3 — с волновым сопротивлением 75 *ом*, l_2 — 50 *ом* Кабель снижения — с волновым сопротивлением 75 *ом*.



поля пропорциональна корню квадратному из величины излученной мощности, то созданная каждой из двух антенн напряженность поля на том же расстоянии R будет равна $E/\sqrt{2}$. Результирующая напря-

женность поля синфазно возбужденных антенн составит $\frac{E}{\sqrt{2}}+$ $+\frac{E}{\sqrt{2}}=\frac{2E}{\sqrt{2}}=\sqrt{2}E$. Отсюда следует, что использование двухэтажной синфазной антенны позволяет увеличить напряженность поля в направлении максимума главного лепестка диаграммы направленности в $\sqrt{2}$ раз, т. е. на 3 *дб*. Применительно к случаю работы антенны в качестве приемной полученный результат означает, что при неизменной напряженности поля в месте приема напряжение на входе телевизионного приемника возрастет в $\sqrt{2}$ раз.

Выигрыш в величине телевизионного сигнала, даваемый синфазной антенной, можно объяснить перераспределением излученной мощности в пространстве. В направлении максимума главного лепестка диаграммы направленности мощность возрастает, а в других направлениях — уменьшается Иными словами, синфазная антенна имеет более узкую диаграмму направленности, чем одиночная антенна. Разнос антенн по вертикали приводит к сужению диаграммы направленности в вертикальной плоскости, по горизонтали — в горизонтальной плоскости.

Коэффициент усиления синфазной антенны K_c в децибелах в направлении максимума главного лепестка диаграммы направленности может быть ориентировочно определен по формуле

$$K_c\,(\partial б) = K\,(\partial б) + 10\lg n,$$

где $K(\partial б)$ — коэффициент усиления одной антенны; n — количество синфазно включенных антенн.

Из этой формулы видно, что при $n=2$ (двухэтажная антенна) коэффициент усиления возрастает на 3 *дб*, при $n=4$ — на 6 *дб*, при $n=8$ — на 9 *дб* и т. д., т. е. увеличение количества синфазно включенных антенн вдвое приводит к возрастанию коэффициента усиления на 3 *дб*. Рассчитаем для примера коэффициент усиления синфазной антенны, состоящей из двух одиннадцатиэлементных антенн типа «волновой канал», каждая из которых имеет коэффициент усиления 12 *дб*. Коэффициент усиления синфазной антенны будет составлять 12+3=15 *дб*.

Конструктивно синфазные антенны удобнее всего строить, разнося антенны по вертикали. Расстояние между антеннами принимается обычно равным $\lambda_{ср}/2$, где $\lambda_{ср}$ — средняя длина волны телевизионного канала

На рис. 37, *б*, *в* показаны два варианта схем междуэтажных соединений синфазной антенны, состоящей из двух антенн, разнесенных на $\lambda_{ср}/2$.

В схеме рис. 37, *б* активные вибраторы антенн соединяются между собой с помощью перекрещенной двухпроводной линии с волновым сопротивлением 300 *ом*. Сопротивление на клеммах верхнего вибратора составляет примерно 300 *ом* и равно волновому сопротивлению двухпроводной линии. Поэтому двухпроводная линия работает в режиме бегущей волны и ее входное сопротивление в сторону верхнего вибратора составляет 300 *ом*. Таким образом, сопротивление на клеммах нижнего вибратора складывается из двух параллельно включенных сопротивлений, каждое из которых равно 300 *ом* — собственного входного сопротивления нижнего вибратора и входного

сопротивления двухпроводной линии в сторону верхнего вибратора. Результирующая величина сопротивления на клеммах нижнего вибратора составляет 150 *ом*. Это сопротивление с помощью четвертьволнового отрезка двухпроводной линии с волновым сопротивлением 210 *ом* трансформируется снова в сопротивление 300 *ом*. Кабель снижения с волновым сопротивлением 75 *ом* подключается через U-колено (кабель l_1). Провода двухпроводной линии, соединяющей верхний и нижний вибраторы, перекрещивать нужно обязательно, так как в противном случае вибраторы будут возбуждаться не в фазе, а в противофазе (неперекрещенная линия вносит сдвиг фаз 180°). В месте перекрещивания провода линии нужно изогнуть с таким расчетом, чтобы расстояние между ними было примерно тем же, что и на участке, где они параллельны

В схеме на рис. 37, *в* сопротивление 300 *ом* на клеммах каждого вибратора трансформируется через U-колено (кабель l_1) в сопротивление 75 *ом*, так как U-колено понижает сопротивление в 4 раза. В точке параллельного соединения кабелей l_3 сопротивление составляет 37,5 *ом*. Это сопротивление с помощью четвертьволнового трансформатора (кабель l_2 с волновым сопротивлением 50 *ом*) трансформируется снова в сопротивление 75 *ом*, что обеспечивает хорошее согласование антенны с кабелем снижения. Для обеспечения синфазной работы этажей антенны оба кабеля l_3 должны иметь строго одинаковую длину и припаиваться к верхнему и нижнему вибраторам также одинаково (оба кабеля — к правым зажимам вибраторов или оба кабеля — к левым зажимам вибраторов). Длины кабелей l_1 и l_2 указаны в табл. 13.

Таблица 13

Длины кабелей междуэтажных соединений

Телевизионные каналы или группы каналов	1	2	3	4	5	6—8	9—12
Длина кабеля l_1, *мм*	1 900	1 600	1 240	1 120	1 030	530	460
Длина кабеля l_2, *мм*	950	800	620	560	515	265	230

Продолжение табл. 13

Телевизионные каналы или группы каналов	6—12	21—25	26—30	31—35	36—40	21—40
Длина кабеля l_1, *мм*	490	200	185	173	162	180
Длина кабеля l_2, *мм*	245	100	93	87	81	90

Длина кабеля l_3 определяется соображениями конструктивного удобства и особого значения не имеет.

Всеволновая антенна метровых и дециметровых волн

Для приема телевизионных передач на метровых и дециметровых волнах на каналах с 1-го по 12-й и с 21-го по 40-й при любых сочетаниях каналов в месте приема могут быть в принципе применены две разновидности широкополосных антенн: со сплошным перекрытием по частоте от 48,5 до 630 *Мгц* и с несплошным перекрытием по частоте, настроенные только на те частоты спектра метровых и дециметровых волн, в которых размещены телевизионные каналы, т. е. на частоты от 48,5 до 100 *Мгц* и от 174 до 230 *Мгц* на метровых волнах и от 470 до 630 *Мгц* на дециметровых волнах.

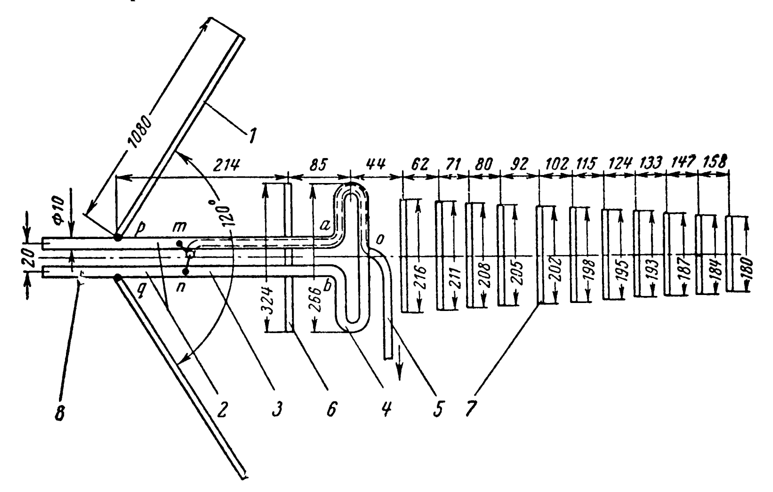


Рис. 38. Всеволновая антенна.

1 — веерный вибратор на каналы 1—12; *2* — двухпроводная соединительная линия; *3* — симметрирующий мостик; *4* — петлевой вибратор антенны на каналы 21—40; *5* — кабель снижения с волновым сопротивлением 75 *ом*; *6* — рефлектор; *7* — директоры; *8* — шлейф

Всеволновая телевизионная антенна, схема которой изображена на рис. 38, а внешний вид — на рис. 39, относится к широкополосным антеннам с несплошным перекрытием по частоте. Антенна имеет простую конструкцию и требует для изготовления небольшого расхода трубок. По сравнению с известными широкополосными антеннами со сплошным перекрытием, например с логопериодическими антеннами, описываемая антенна имеет меньший коэффициент усиления на каналах с 1-го по 12-й и больший на каналах с 21-го по 40-й.

Антенна состоит из двух частей — антенны метровых волн на каналы 1—12 и дециметровых волн на каналы 21—40, подключенных параллельно к общему кабелю снижения. Схема подключения антенн к кабелю снижения построена с таким расчетом, чтобы исключить их взаимное влияние друг на друга через кабель. Антенна метровых волн не шунтирует антенну дециметровых волн, а антенна децимет-

ровых волн не шунтирует антенну метровых волн. Примененный способ параллельного включения антенн позволяет получить высокий коэффициент бегущей волны в кабеле снижения на всех каналах метровых волн без использования специальных развязывающих фильтров

Антенна метровых волн на каналы с 1-го по 12-й образована широкополосным веерным вибратором *1*, отрезком двухпроводной соединительной линии *2* (между точками *pq* и *mn*) и короткозамкну-

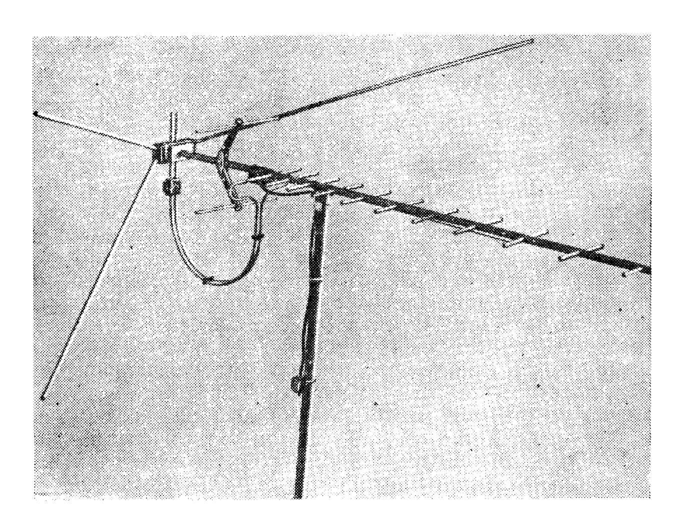


Рис. 39. Внешний вид всеволновой антенны.

тым симметрирующим мостиком *3*. В качестве короткозамыкающей перемычки мостика используется активный вибратор *4* антенны дециметровых волн, входное сопротивление которого на метровых волнах очень мало. Геометрическая длина трубок между точками *mn* и *ab* выбрана так, чтобы электрическая длина мостика от точек *mn* до точки *O* составляла 90° ($\lambda/4$) на средней частоте каналов 1—5 и 270° ($3\lambda/4$) на средней частоте каналов 6—12. Кабель снижения *5* с волновым сопротивлением 75 *ом* вводится в мостик в середине короткозамыкающей перемычки (точка нулевого потенциала *O* активного вибратора *4* антенны дециметровых волн), проходит внутри одной из трубок мостика и припаивается к его трубкам в точках *mn*: центральный проводник — к точке *n*, оболочка — к точке *m*. Симметрирующий мостик, как видно на рис. 39, изогнут, что определяется соображениями конструктивного удобства. Форма изгиба особого значения не имеет.

Антенна дециметровых волн типа «волновой канал» на каналы с 21-го по 40-й образована активным петлевым вибратором *4*, сдвоенным рефлектором *6*, директорами *7*, двухпроводной линией *3*, соединяющей кабель снижения с входными зажимами *ab* активного вибратора, отрезка двухпроводной соединительной линии *2* и разомк-

Таблица 14

Параметры одноканальных, многоканальных и диапазонных антенн, применяемых для оборудования телевизионных антенн коллективного пользования

Обозначение по ГОСТ 11289-65	Принимаемые каналы	Количество элементов	Коэффициент усиления, *дб*, не менее	
			По ГОСТ 11289-65	Фактически
АТВК-3/1	1	3	4,5	5,3
АТВК-3/2	2	3	4,5	5,3
АТВК-4/3	3	4	6,0	7,2
АТВК-4/4	4	4	6,0	7,2
АТВК-4/5	5	4	6,0	7,2
АТВК-5/6	6	5	8,0	8,5
АТВК-5/7	7	5	8,0	8,5
АТВК-5/8	8	5	8,0	8,5
АТВК-5/9	9	5	8,0	8,5
АТВК-5/10	10	5	8,0	8,5
АТВК-5/11	11	5	8,0	8,5
АТВК-5/12	12	5	8,0	8,5
АТВК-4/1,3	1, 3	4	3,5	4,0 — на 1 канале 4,1 — на 3 канале
АТВК-5/1,3	1, 3	5	3,5	4,3 — на 1 канале 5,5 — на 3 канале
АТВК-4/2,3	2, 3	4	3,5	5,2 — на 2 канале 6,3 — на 3 канале
АТВК-5/2,4	2, 4	5	3,5	4,3 — на 2 канале 5,3 — на 4 канале
АТВК-6/1,5	1, 5	6	—	3,6 — на 1 канале 4,7 — на 5 канале
АТВК-5/2,5	2, 5	5	3,5	4,3 — на 2 канале 5,5 — на 5 канале
АТВК-5/3,5	3, 5	5	3,5	6,8
АТВК-7/6—12	От 6 по 12	7	6,5	8,0

В настоящее время известно большое число разновидностей логопериодических антенн, отличающихся в основном формой вибраторов. На практике применяются линейные разрезные вибраторы, вибраторы треугольной и трапецеидальной формы и т. д.

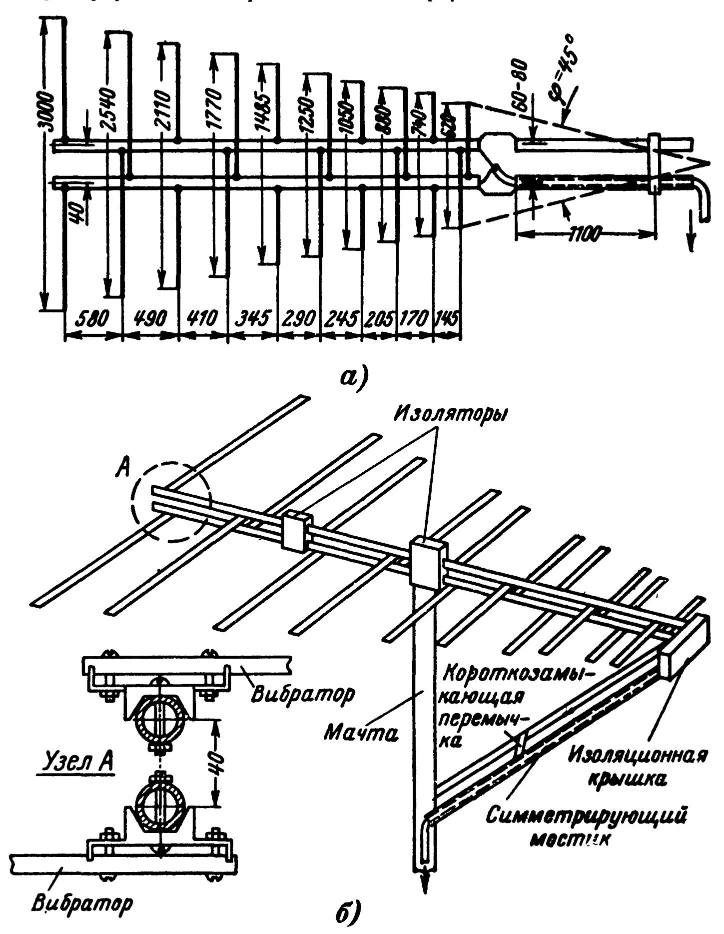


Рис. 40. Логопериодическая антенна на каналы с 1-го по 12-й.

а — расположение вибраторов; *б* — устройство антенны.

Один из простейших вариантов логопериодической антенны, который может быть использован без перестройки для направленного приема телевизионных передач на каналах с 1-го по 12-й, показан на рис. 40 Основой антенны является антенное полотно так называемой логопериодической структуры, состоящее из ряда параллельных

линейных разрезных вибраторов, подключенных к двухпроводной линии с последовательной переменой фазы напряжения. Для удобства подключения половинок вибратора проводники двухпроводной линии разнесены в вертикальной плоскости.

Структура антенного полотна характеризуется определенными геометрическими соотношениями. Длины вибраторов и расстояния между ними уменьшаются в геометрической прогрессии в направлении к точкам подключения кабеля снижения. Вибраторы логопериодической структуры вписываются в равнобедренный треугольник. Основанием треугольника служит наиболее длинный вибратор, размеры которого (с учетом коэффициента укорочения) должны быть несколько больше половины длины волны, соответствующей низшей рабочей частоте. Размеры наиболее короткого вибратора должны быть несколько меньше половины длины волны, соответствующей высшей рабочей частоте.

Электрические параметры антенны зависят от угла φ при вершине треугольника, в которой вписаны вибраторы, и от периода структуры τ, равного отношению длин рядом расположенных вибраторов (более короткого к более длинному). Отметим, что расстояния между вибраторами уменьшаются в направлении к точкам питания также в отношении, равном выбранному периоду структуры τ. Чем меньше угол φ при вершине треугольника и чем ближе период структуры τ к единице, тем больше коэффициент усиления антенны и меньше уровень задних и боковых лепестков диаграммы направленности. Однако при уменьшении угла φ и увеличении периода структуры τ возрастают габариты и вес антенны. Поэтому выбор угла φ и периода структуры τ производится из условия компромисса между габаритами и весом антенны, с одной стороны, и электрическими параметрами, с другой. Иначе говоря, величины φ и τ, определяющие размеры и геометрическую структуру логопериодического полотна, выбирают таким образом, чтобы обеспечить достаточно большой коэффициент усиления и низкий уровень лепестков при приемлемых габаритах и весе антенны. Обычно угол φ выбирается в пределах от 30 до 60°, а период структуры τ от 0,7 до 0,9, В двадцатиканальной антенне, изображенной на рис. 40, угол φ выбран равным 45°, а период структуры τ — 0,84.

Рассмотрим принцип действия логопериодической антенны, изображенной на рис. 40, считая, как это мы делали и раньше, что антенна работает в режиме передачи.

Если к точкам питания антенны подключить источник напряжения высокой частоты, то энергия будет распространяться по двухпроводной линии справа налево, т. е. от коротких вибраторов в сторону более длинных. В зависимости от частоты сигнала будет возбуждаться та или иная группа вибраторов, длина которых наиболее близка к резонансной. Другие вибраторы, расстроенные относительно частоты сигнала, возбуждаются слабо и в общее излучение антенны заметной доли не вносят. На верхнем краю рабочей полосы частот возбуждаются в основном короткие вибраторы, расположенные вблизи точек питания. По мере уменьшения частоты начинают возбуждаться более длинные вибраторы. На нижнем краю рабочей полосы частот возбуждаются наиболее длинные вибраторы. Таким образом, упрощенно можно считать, что логопериодическая антенна состоит из ряда последовательно расположенных групп вибраторов, каждая из которых обеспечивает излучение в определенном интервале частот. Более длинные вибраторы каждой группы играют роль

рефлекторов, а более короткие — директоров, в результате чего антенна приобретает направленные свойства. Поскольку на каждой частоте работают не все вибраторы логопериодической структуры, а только их часть, то антенна имеет меньший коэффициент усиления, чем, например, антенна типа «волновой канал» с тем же числом вибраторов.

Можно ориентировочно считать, что логопериодическая антенна с числом вибраторов, равным 10—11, эквивалентна по коэффициенту усиления трех-четырехэлементной антенне типа «волновой канал». В то же время логопериодическая антенна работает в значительно более широкой полосе частот, чем антенна типа «волновой канал», что позволяет использовать ее для приема передач многопрограммных телецентров

Двенадцатиканальная логопериодическая антенна из линейных вибраторов, показанная на рис. 40, имеет следующие электрические параметры:

коэффициент усиления относительно полуволнового вибратора от 4 до 6 *дб*;

уровень задних и боковых лепестков диаграммы направленности в горизонтальной плоскости ниже уровня основного лепестка на 12—14 *дб*;

коэффициент бегущей волны 0,4—0,5.

Основные геометрические размеры антенны показаны на рис. 40, *а*, устройство — на рис. 40, *б*. Двухпроводная линия изготовляется из труб диаметром 20—30 *мм*, симметрирующий короткозамкнутый мостик — из труб диаметром 16—22 *мм*. Крепление половинок вибраторов к двухпроводной линии (узел *А*) производится с помощью фасонных скоб из листовой стали толщиной 1,5—2 *мм*. В качестве изоляторов, с помощью которых скрепляются трубки двухпроводной линии, а также производится крепление антенного полотна к мачте, может быть использован текстолит, стеклотекстолит, гетинакс, капрон и т. д. Для придания антенному полотну большей жесткости крепление трубок двухпроводной линии следует производить с помощью 4—5 изоляторов, равномерно распределенных вдоль антенного полотна. Длина трубок симметрирующего мостика за пределами короткозамыкающей перемычки значения не имеет. Их нужно выбрать такой длины, чтобы мостик упирался в мачту и служил подкосом для антенного полотна. Крепление концов трубок мостика к мачте можно выполнить либо с помощью болтов, либо с помощью металлического хомута любой конструкции. В месте подключения симметрирующего мостика к двухпроводной линии концы трубок мостика нужно несколько изогнуть с таким расчетом, чтобы их было удобно подключить к двухпроводной линии. В качестве кабеля снижения может быть использован любой коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 *ом*.

Для улучшения направленных свойств логопериодических антенн их часто выполняют в виде двух полотен, развернутых относительно друг друга в вертикальной плоскости на некоторый угол. В этих случаях вибраторы имеют обычно треугольную или трапецеидальную форму. Описание таких антенн приведено в статьях Л. Минаша «Широкодиапазонная приемная телевизионная антенна» и В. Шелонина и Э. Трофимова «Антенна на 12 каналов», опубликованных в журнале «Радио» № 8, 1960 г.

Нужно отметить, что в радиолюбительской практике наряду с логопериодическими антеннами находят применение широкодиапа-

зонные направленные проволочные антенны простой конструкции, называемые зигзагообразными. Подробное описание конструкций и способов изготовления таких антенн приведено в статьях К. Харченко, опубликованных в журнале «Радио» № 3 и 4 за 1961 г.

Глава 6

УСТРОЙСТВО И ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ КОМНАТНЫХ АНТЕНН

Напряженность электромагнитного поля внутри зданий меньше, чем на крыше, так как метровые и дециметровые волны, на которых ведется телевизионное вещание, частично поглощаются в стенах здания. Снижение уровня телевизионного сигнала происходит также за счет отражения радиоволн от металлической арматуры в стенах зданий, вентиляционных коробов, труб и т. д. Поэтому дальность действия комнатных антенн меньше, чем наружных

Установлено, что на метровых волнах напряженность поля внутри здания меньше, чем на крыше, в среднем в 6—7 раз, на дециметровых волнах — в 10—12 раз. При этом уровень сигнала обычно выше на верхних этажах здания, а также в тех случаях, когда окна выходят в сторону телецентра. В среднем можно считать, что уверенный прием телевизионных передач на комнатные антенны возможен примерно в радиусе 12—15 *км* от телецентра. При большой мощности телевизионного передатчика и благоприятном рельефе местности дальность приема на комнатную антенну может превышать указанную. Так, например, дальность приема передач Общесоюзного телецентра (Останкино) на комнатную антенну достигает в ряде случаев 40—50 *км*.

Качество телевизионного изображения при приеме на комнатную антенну в большой мере зависит от того, насколько правильно произведено ее ориентирование. Электромагнитное поле в помещении распределено неравномерно в связи с многократными отражениями радиоволн от стен здания. Такой характер распределения поля приводит при неудачном выборе положения антенны не только к ослаблению сигнала, но и к искажению его частотного спектра. Иногда достаточно переместить антенну на 1—2 *м*, немного развернуть ее вокруг оси или изменить угол наклона вибраторов, чтобы существенно улучшить качество изображения. Поэтому, устанавливая комнатную антенну, необходимо произвести ее тщательную ориентировку. Как показывает опыт, в подавляющем большинстве случаев удается подобрать такое положение антенны, при котором обеспечивается получение качественного изображения на экране телевизионного приемника.

На метровых волнах в диапазонах 48,5—100 *Мгц* и 174—230 *Мгц* (каналы 1—12) в качестве комнатных антенн обычно используются слабонаправленные антенны — полуволновые раздвижные вибраторы и укороченные раздвижные вибраторы (длиной меньше половины длины волны). Установить в помещении направленные антенны метровых волн не представляется возможным в связи с их большими габаритами. На дециметровых волнах в диапазоне 470—630 *Мгц* (каналы 21—40) размеры направленных антенн значительно мень-

ше, чем на метровых. Поэтому в качестве комнатных антенн дециметровых волн могут быть использованы направленные антенны, например типа «волновой канал» и логопериодические. При устройстве комбинированных комнатных антенн метровых и дециметровых волн в качестве дециметровой приставки используются как направленные, так и слабонаправленные антенны.

Полуволновый раздвижной вибратор метровых волн

Полуволновый раздвижной вибратор метровых волн (рис. 41, *а*), работающий с перестройкой на любом из 12 телевизионных каналов, состоит из двух «усов» *1* телескопической конструкции, закреплен-

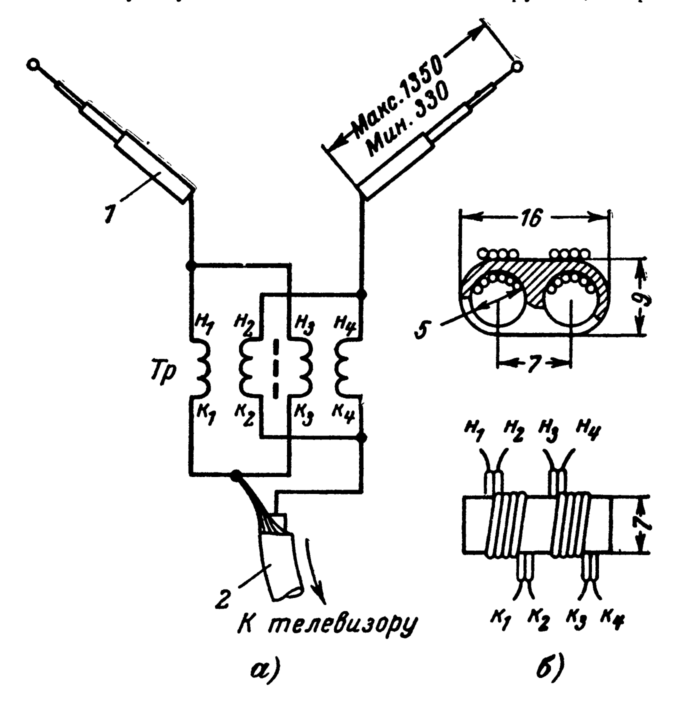


Рис. 41. Полуволновый раздвижной вибратор метровых волн.

а — схема включения; *б* — конструкция симметрирующего трансформатора.

ных в пластмассовом основании, малогабаритного симметрирующего трансформатора *Тр* и кабеля снижения *2* со штекером. Симметрирующий трансформатор, включенный между вибратором и кабелем снижения с волновым сопротивлением 75 *ом*, предназначен для того, чтобы предотвратить затекание токов высокой частоты на внешнюю

поверхность металлической оплетки кабеля. Перестройка антенны с канала на канал производится изменением длины «усов». При полностью выдвинутых «усах» длина вибратора с учетом расстояния между его входными зажимами составляет примерно половину длины волны на средней частоте 1-го канала. Уменьшая длину «усов», можно настроить антенну на остальные каналы. Если «усы» полностью вдвинуты, то длина вибратора составляет примерно половину длины волны на средней частоте диапазона 174—230 *Мгц*. Поскольку вибратор является достаточно широкополосным, то в этом положении обеспечивается прием всех каналов в диапазоне 174—230 *Мгц*, т. е. каналов с 6-го по 12-й.

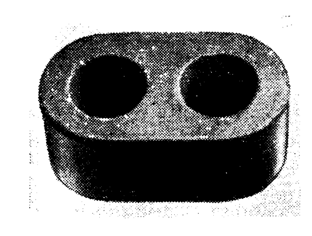


Рис. 42. Ферритовый сердечник симметрирующего трансформатора комнатной антенны.

«Усы» выполняются в виде телескопической конструкции из тонкостенных стальных или латунных трубок. Чаще всего используется пятиколенная конструкция, состоящая из четырех трубок и одного стержня (последнее колено). Обычно применяется набор трубок следующих диаметров: 7×0,25; 6×0,25; 5×0,25; 4×0,25 (первая цифра обозначает наружный диаметр трубки, вторая — толщину стенки). Диаметр стержня 3 *мм*. Каждый «ус» крепится на шарнире, что позволяет подобрать при ориентировке антенны наивыгоднейшее положение «усов».

Важным элементом комнатной антенны является симметрирующий трансформатор. При отсутствии трансформатора, т. е. при непосредственном подключении коаксиального кабеля снижения к симметричному вибратору, токи высокой частоты затекают на наружную поверхность оплетки кабеля. При этом кабель начинает работать как самостоятельная антенна, сопротивление излучения и диаграмма направленности которой зависят от положения кабеля и его длины. Сигнал, принятый на кабель, складывается в случайной фазе с основным сигналом, принятым вибратором, что приводит к искажению диаграммы направленности антенны. В результате этого снижается помехоустойчивость приема, возможны искажения изображения за счет многоконтурности и потери четкости. Кроме того, при отсутствии симметрирующего трансформатора на работе антенны сильнее сказывается перемещение людей по комнате.

Устройство малогабаритного симметрирующего трансформатора показано на рис. 41, *б*. Трансформатор состоит из сердечника с двумя отверстиями и четырех обмоток. Сердечник (рис. 42) изготовлен из высокочастотного никель-цинкового феррита 30ВЧ2 (начальная магнитная проницаемость 30, максимальная магнитная проницаемость 120). В каждом из отверстий сердечника находятся две обмотки по 2,5 витка в каждой. Каждая пара обмоток наматывается в два провода типа ПКСВ-2 сечением 0,22 *мм*^{2} или ПМВ диаметром 0,5 *мм*. Намотка производится согласно (обе пары катушек наматываются по часовой стрелке или против часовой стрелки).

Схема включения обмоток трансформатора показана на рис. 41, *а*. Благодаря сильной магнитной связи между обмотками,

подключенными к левому и правому зажимам вибратора (коэффициент связи близок к единице), трансформатор оказывает малое сопротивление несимметричным (полезным) токам и большое сопротивление симметричным (вредным) током, что препятствует их затеканию на внешнюю поверхность оплетки кабеля. Параллельное включение двух обмоток в каждое плечо вибратора связано с необходимостью получения нужного волнового сопротивления трансформатора для несимметричных токов.

В качестве кабеля снижения используется любой коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 *ом* — РК-75-4-15 (РК-1), РК-75-4-11 (РК-101), КПТА-1 и т. д. Антенна может работать и с симметричным шнуром, имеющим волновое сопротивление, близкое к 75 *ом*. Однако схему антенны следует при этом видоизменить. Симметричный шнур нужно подключить непосредственно к зажимам вибратора, а симметрирующий трансформатор — между концом шнура и коаксиальным штекером телевизионного приемника.

Описанная схема подключения кабеля снижения к полуволновому вибратору через ферритовый симметрирующий трансформатор применена в комнатной антенне АТК-12-У, модернизированном варианте антенны КТТА-12к и некоторых других комнатных антеннах.

Необходимо сделать следующие замечания, связанные с использованием ферритовых симметрирующих трансформаторов. При таком способе включения обмоток, какое показано на рис. 41, *а*, коэффициент трансформации сопротивлений равен единице. Это означает, что сопротивление на входе кабеля снижения точно равно входному сопротивлению вибратора (73 *ом*), что обеспечивает хорошее согласование кабеля с антенной. В принципе этот же симметрирующий трансформатор может быть использован и в тех случаях, когда нужно подключить коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 *ом* к симметричной 300-омной антенне, например к петлевому вибратору. В этом случае коэффициент трансформации сопротивлений должен составлять 1 : 4. Для получения такого коэффициента трансформации нужно изменить схемы включения обмоток. Вывод k_3 нужно отключить от k_1, вывод k_2 от k_4 и соединить выводы k_2 и k_3 между собой.

Способы укорочения вибраторов метровых волн

В качестве комнатных антенн наряду с полуволновыми вибраторами могут быть применены и укороченные вибраторы, длина которых меньше половины длины волны. Укороченные вибраторы имеют несколько более сложную схему питания и требуют применения переключателя каналов, однако их удобнее ориентировать в помещении. По коэффициенту усиления настроенные укороченные вибраторы почти не уступают полуволновым.

Принцип укорочения вибраторов состоит в следующем. Известно, что входное сопротивление полуволнового линейного симметричного вибратора является чисто активным, составляет по величине 73 *ом* и хорошо согласуется с волновым сопротивлением коаксиального кабеля. Если длину вибратора уменьшить, то его входное сопротивление из чисто активного станет комплексным, т. е. состоящим из активной и реактивной составляющих. Чем короче вибратор, тем меньше активная составляющая сопротивления и больше реактивная (емкостного характера). Так, например, активная составляю-

щая входного сопротивления вибратора из трубок диаметром 8—10 *мм*, уменьшенного по длине вдвое по сравнению с полуволновым, составляет на частоте 50 *Мгц* примерно 15—20 *ом*, а реактивная составляющая — 400—500 *ом*. Комплексный характер входного сопротивления укороченного вибратора приводит к его рассогласованию с кабелем снижения и, как следствие, к уменьшению мощности, поступающей на вход телевизионного приемника. Поэтому укороченный вибратор нужно настроить в резонанс, т. е. скомпенсировать реактивную составляющую входного сопротивления.

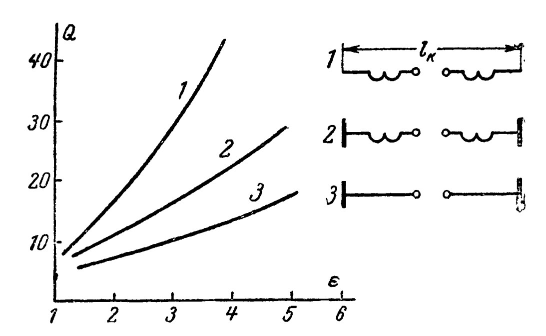


Рис. 43. Зависимость добротности настроенного укороченного вибратора от его укорочения.

1 — укорочение индуктивностью, включенной в основание вибратора; *2* — комбинированный способ укорочения; *3* — укорочение емкостными дисками, включенными на концах вибратора.

На рис. 43 показаны различные схемы компенсации реактивной составляющей. В схеме *1* компенсация происходит за счет включения последовательно с вибратором катушек индуктивности, реактивное сопротивление которых обратно по знаку реактивной (емкостной) составляющей входного сопротивления вибратора. Если подобрать индуктивности катушек таким образом, чтобы их суммарное индуктивное сопротивление (при последовательном включении) на рабочей частоте равнялось емкостной составляющей входного сопротивления, то входное сопротивление станет чисто активным. В схеме *3* компенсация происходит за счет установки на концах вибратора нагрузок в виде дисков, что приводит к перераспределению тока в проводах вибратора. Такие вибраторы называют нагруженными. В отличие от ненагруженных вибраторов, в которых диски на концах отсутствуют, ток на концах нагруженного вибратора не равен нулю. Поэтому установка дисков на концах укороченного вибратора приводит к его эквивалентному удлинению. При соответствующем выборе диаметра диска пучность (максимум) тока смещается на входные зажимы вибратора и его входное сопротивление становится чисто активным. Схема *2* представляет собой комбинацию схем *1* и *3*.

Полоса пропускания ΔF настроенного укороченного вибратора зависит от степени его укорочения. Чем короче вибратор, тем более узкую полосу пропускания он имеет. Это положение иллюстрируется графиками, изображенными на рис. 43, где показана зависимость

добротности вибратора Q от его укорочения ε для каждой из трех схем компенсации. Под укорочением ε будем понимать отношение длины полуволнового вибратора l к длине укороченного вибратора $l_к$ ($\varepsilon = l/l_к$). Из графиков видно, что чем короче настроенный вибратор, т. е. чем больше укорочение, тем большей добротностью он обладает. Поскольку полоса пропускания обратно пропорциональна добротности ($\Delta F = f_{ср}/Q$, где $f_{ср}$ — средняя частота канала), то чем больше укорочение, тем более узкую полосу пропускания имеет вибратор.

Если сравнить между собой кривые *1*, *2* и *3*, изображенные на рис. 43, соответствующие показанным на этом же рисунке схемам компенсации, то можно видеть, что наиболее выгодной с точки зрения ширины полосы пропускания является схема с дисками (кривая *3*), наименее выгодной — схема с компенсирующими катушками индуктивности (кривая *1*). Иначе говоря, схема с дисками имеет при одном и том же укорочении меньшую добротность и соответственно большую полосу пропускания. Однако на практике применяется в основном схема с катушками индуктивности, так как конструктивно она наиболее удобна.

Пользуясь кривой *1*, определим предельно допустимое укорочение вибратора, скомпенсированного катушками индуктивности.

Полоса пропускания вибратора ΔF, используемого в качестве комнатной антенны, должна составлять 5—6 *Мгц*. Применительно к 1-му каналу ($\Delta F = 52{,}5$ *Мгц*) добротность вибратора, обеспечивающая получение такой полосы пропускания, должна быть не менее 10 ($Q = f_{ср}/\Delta F \approx 10$). Такой величине добротности соответствует по кривой *1* укорочение, равное 1,35. Следовательно, длина вибратора на самом низкочастотном телевизионном канале метровых волн может быть уменьшена не больше чем на 30—40%. В некоторых случаях при использовании широкополосных плоскостных вибраторов специальной формы антенну удается укоротить несколько больше.

Укороченные вибраторы метровых волн

Укороченный раздвижной вибратор. Схема антенны показана на рис. 44, *а*. Антенна работает с перестройкой на любом из 12 телевизионных каналов и состоит из двух укороченных «усов» *1* телескопической конструкции, компенсирующих катушек индуктивности L_1 и L_2 ($L_1 = L_2$), переключателя каналов *П* на два положения («каналы 1—2», «каналы 3—12»), симметрирующего трансформатора *Тр* и кабеля снижения *2* со штекером. Длина полностью выдвинутого «уса» составляет 1 000—1 100 *мм*, что на 30—40% меньше длины «уса» полуволнового вибратора. Волновое сопротивление кабеля снижения — 75 *ом*.

Для приема на 1-м канале «усы» нужно выдвинуть на полную длину, а переключатель каналов установить в левое положение, как показано на рис. 44, *а*. В этом положении переключателя последовательно с вибратором включены компенсирующие катушки L_1, L_2 и вибратор оказывается настроенным в резонанс. Для приема на 2-м канале переключатель следует оставить в том же положении (компенсирующие катушки включены), а «усы» несколько укоротить, что обеспечивает настройку вибратора в резонанс. Таким образом, на 1-м и 2-м каналах антенна работает по схеме скомпенсированного укороченного вибратора.

Для приема на каналах с 3-го по 12-й переключатель устанавливается в правое положение. В этом положении катушки L_1 и L_2 замкнуты накоротко и вибратор оказывается подключенным непосредственно к симметрирующему трансформатору *Тр* точно так же, как в схеме рис. 41 для полуволнового раздвижного вибратора. Таким образом, на каналах 3—12 антенна работает как полуволновый раздвижной вибратор и переход с канала на канал производится только изменением длины «усов».

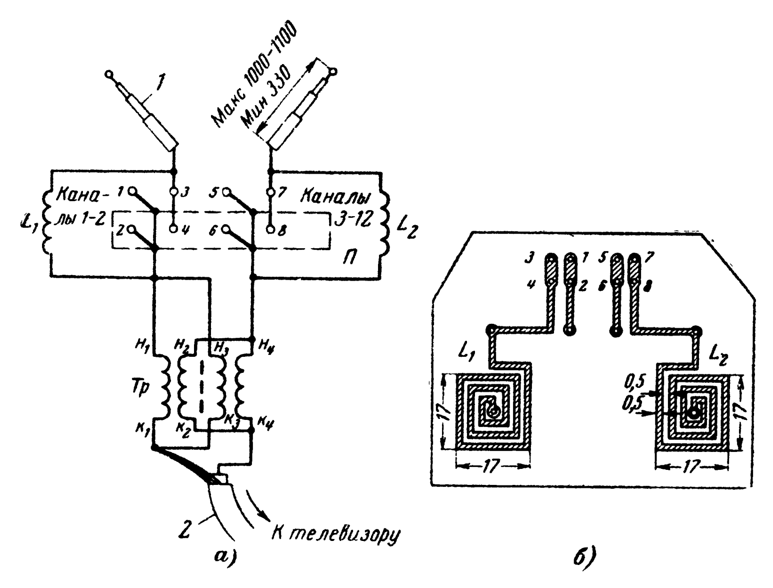


Рис. 44. Укороченный раздвижной вибратор метровых волн.
а — схема включения; *б* — печатная плата с катушками L_1 и L_2.

Индуктивность каждой из компенсирующих катушек L_1 и L_2 составляет примерно 0,2 *мкгн*. Конструктивно катушки выполняются либо печатным способом на фольгированном стеклотекстолите (рис. 44, *б*), либо путем намотки на каркасы из полистирола или органического стекла. Для симметрирования антенны чаще всего используется трансформатор на ферритовом сердечнике, показанный на рис. 41, *б*.

По схеме скомпенсированного укороченного вибратора выполнены антенны АТК-12-III, АТК-12-IV и «Маяк».

Укороченный нераздвижной вибратор. Внешний вид комнатной антенны, выполненной в виде укороченного нераздвижного вибратора, показан на рис. 45. Антенна работает на любом из 12 каналов в диапазонах 48,5—100 *Мгц* (каналы 1—5) и 174—230 *Мгц* (каналы 6—12). Половинки вибратора крепятся к основанию с помощью гибких металлических шлангов, которые имеют с половинками вибратора непосредственный гальванический контакт. Такой способ креп-

ления позволяет независимо наклонять половинки вибраторов в разные стороны, что облегчает ориентировку антенны в помещении. Общая длина каждой половинки вибратора, включая гибкий шланг, составляет 745 *мм*, ширина в верхней части 120 *мм*. Вибратор изготовляется из трубок или прутков диаметром 8 *мм*. Переключение каналов производится с помощью переключателя на два положения («каналы 1—2», «каналы 3—12»), включающего или отключающего компенсирующие катушки. По электрическим параметрам антенна уступает укороченному раздвижному вибратору.

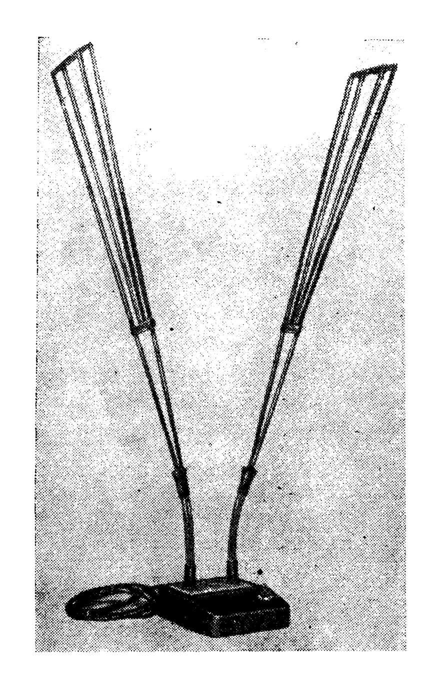


Рис. 45. Внешний вид укороченного нераздвижного вибратора метровых волн.

Комнатные антенны дециметровых волн

На дециметровых волнах в диапазоне 470—630 *Мгц* (каналы 21—40) в качестве комнатных антенн могут быть применены направленные антенны, так как их размеры на этих волнах относительно невелики.

В качестве направленных комнатных антенн дециметровых волн наиболее удобны антенны типа «волновой канал» и логопериодические антенны.

Комнатная антенна типа «волновой канал». На рис. 46 показан внешний вид комнатной антенны дециметровых волн АТКД-2 типа «волновой канал», работающей без перестройки на каналах с 21-го и по 40-й в диапазоне 470—630 *Мгц*. Геометрические размеры антенны приведены на рис. 47, *а*.

Антенна состоит из основания со стойкой и съемного антенного полотна. Антенное полотно содержит активный вибратор, рефлектор и два директора, которые изготовляются из латунной или стальной ленты и крепятся к пластмассовой стреле.

Подключение кабеля снижения к антенне производится через короткозамкнутый симметрирующий мостик (рис. 47, *б*), длина которого равна четверти длины волны на средней частоте диапазона 470—630 *Мгц*. Мостик образован двухпроводной линией, одним проводником которой служит металлическая оплетка кабеля снижения, вторым — отрезок монтажного провода МГШВ сечением 0,35 *мм*^{2}. На расстоянии 140 *мм* от входных зажимов антенны, равном гре-

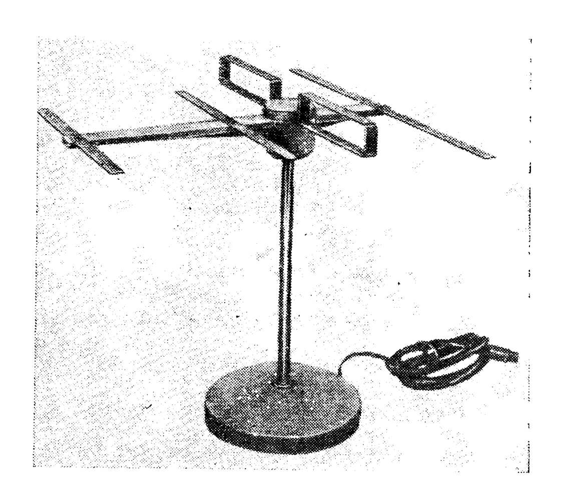


Рис. 46. Внешний вид комнатной антенны дециметровых волн типа «волновой канал».

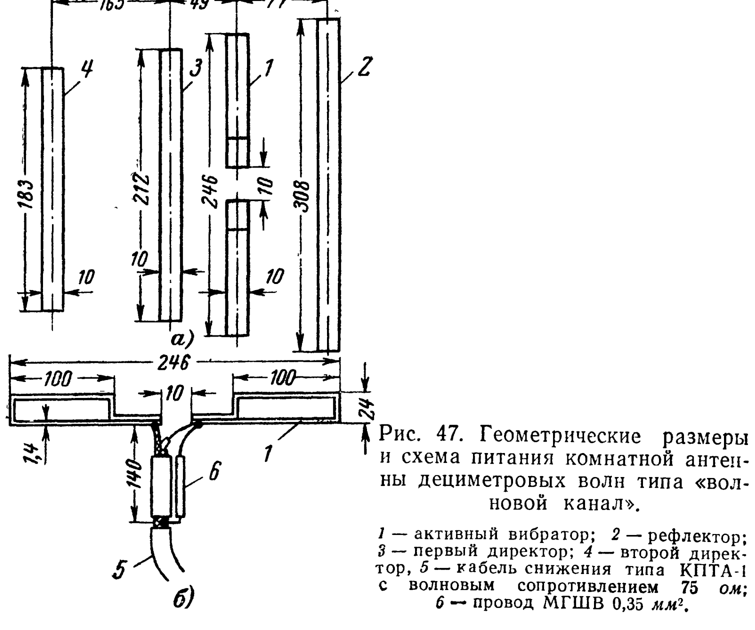


Рис. 47. Геометрические размеры и схема питания комнатной антенны дециметровых волн типа «волновой канал».

1 — активный вибратор; *2* — рефлектор; *3* — первый директор; *4* — второй директор, *5* — кабель снижения типа КПТА-1 с волновым сопротивлением 75 *ом*; *6* — провод МГШВ 0,35 *мм*².

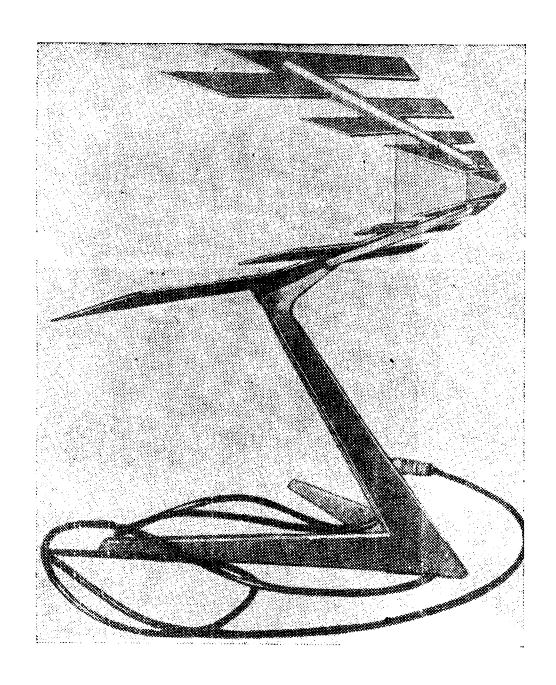


Рис. 48. Внешний вид комнатной логопериодической антенны дециметровых волн.

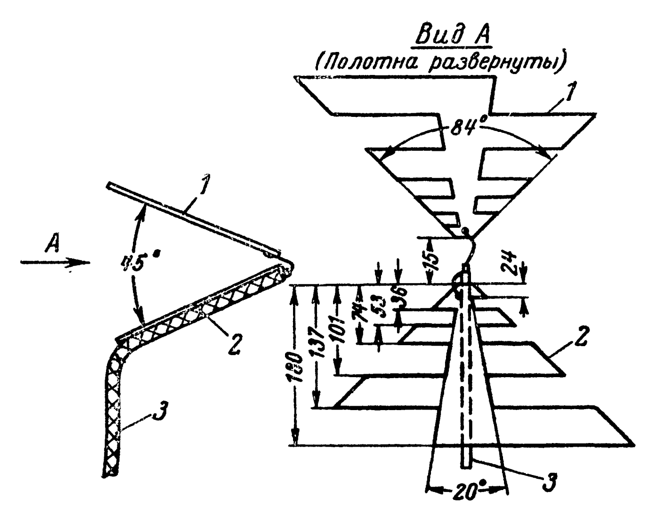


Рис. 49. Геометрические размеры и схема подключения кабеля снижения к комнатной логопериодической антенне дециметровых волн.

1 — верхнее полотно; *2* — нижнее полотно; *3* — кабель снижения типа КПТА-1 с волновым сопротивлением 75 *ом*.

буемой длине мостика (четверть длины волны на частоте 550 *Мгц*), монтажный провод припаивается в оплетке кабеля.

Коэффициент усиления относительно полуволнового вибратора — не менее 5,5 *дб*.

Комнатная логопериодическая антенна. На рис. 48 показан внешний вид комнатной логопериодической антенны, работающей без перестройки на каналах с 21-го по 40-й в полосе частот 470—630 *Мгц*. Геометрические размеры антенны и схема подключения кабеля приведены на рис 49

Антенна состоит из двух зубчатых полотен, которые изготовляются из металлического листа толщиной 1—1,5 *мм*. Полотна располагаются под углом 45° друг к другу и крепятся на изоляторе из органического стекла Для увеличения жесткости полотен вдоль оси каждого из них выдавливается канавка полукруглого профиля («зиг»). Канавка нижнего полотна используется для укладки коаксиального кабеля снижения После укладки кабеля канавку закрывают накладкой полукруглого профиля, которая удерживает кабель от выпадения Крепление накладки к нижнему полотну производится винтами. Кабель снижения подключается к антенне в месте схода полотен. Металлическая оплетка припаивается к нижнему полотну, внутренний проводник — к верхнему. Коэффициент усиления относительно полуволнового вибратора — не менее 4 *дб*.

Комбинированные комнатные антенны метровых и дециметровых волн

Простейшей комнатной антенной метровых и дециметровых волн является ленточных петлевой вибратор, внешний вид которого показан на рис. 50. Вибратор образован гибкой стальной лентой спе-

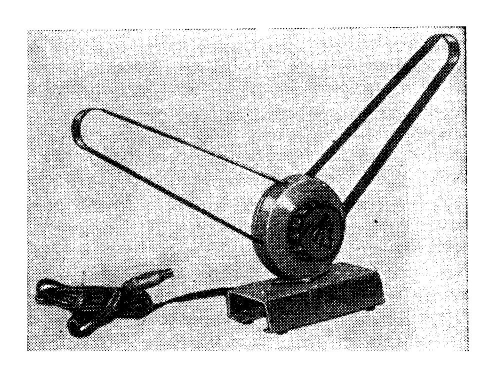


Рис. 50. Ленточный петлевой вибратор метровых и дециметровых волн.

циального профиля, которая наматывается на барабан, размещенный внутри пластмассового кожуха. Вращением ручки барабана можно увеличивать или уменьшать длину вибратора, перестраивая его тем самым с канала на канал.

Другим вариантом комнатной антенны метровых и дециметровых волн является комбинированная антенна, внешний вид которой

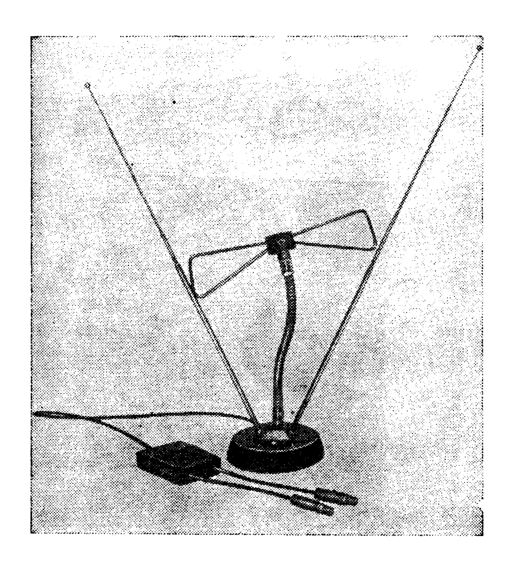


Рис. 51. Внешний вид комбинированной комнатной антенны метровых и дециметровых волн.

показан на рис. 51. Антенна состоит из полуволнового раздвижного вибратора метровых волн и дециметровой приставки в виде полуволнового вибратора, укрепленного на гибком металлическом шланге. Конструктивно эта антенна сложнее ленточной, но обладает тем преимуществом, что ее легче ориентировать в помещении, так как наивыгоднейшее положение вибратора метровых волн и дециметровой приставки могут быть подобраны практически независимо.

Глава 7

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ АНТЕННЫ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЗДАНИЙ

В крупных городах большое распространение получили телевизионные антенны коллективного пользования, каждая из которых заменяет до 50—100 индивидуальных антенн. На крыше здания вместо

большого числа слабонаправленных индивидуальных антенн производится установка только одной или нескольких направленных антенн. Эти антенны подключаются к проложенным внутри здания кабельным линиям, по которым сигнал, принятый антеннами, поступает к телевизионным приемникам. Такие системы обеспечивают высокое качество приема, позволяют существенно ослабить многоконтурность изображения за счет пространственной избирательности установленных на крыше направленных антенн.

Кроме того, при использовании телевизионных антенн коллективного пользования вместо индивидуальных антенн улучшается внешний вид здания, что является немаловажным фактором, способствующим улучшению общей архитектуры города.

Принцип действия

Блок-схема простейшей телевизионной антенны коллективного пользования показана на рис. 52. Схема работает следующим образом. Телевизионный сигнал, принятый антенной *1*, подводится по кабелю снижения *2* через соединительную коробку *3* к началу магистральной линии *4* и поступает на вход первой распределительной коробки *5*, расположенной на лестничной клетке верхнего этажа здания. Из распределительной коробки небольшая часть мощности телевизионного сигнала ответвляется в абонентские линии *6* и подводится к телевизионным приемникам, расположенным в квартирах этого этажа. С выхода первой распределительной коробки телевизионный сигнал, несколько ослабленный по мощности, поступает по магистральной линии *4* на вход второй распределительной коробки *5*, расположенной на лестничной клетке предпоследнего этажа Из этой коробки небольшая часть мощности телевизионного сигнала снова ответвляется в абонентские линии *6* и поступает к телевизионным приемникам, расположенным в квартирах этого этажа. С выхода второй распределительной коробки *5* основная часть мощности, повторно ослабленная, снова поступает в магистральную линию *4* и т. д.

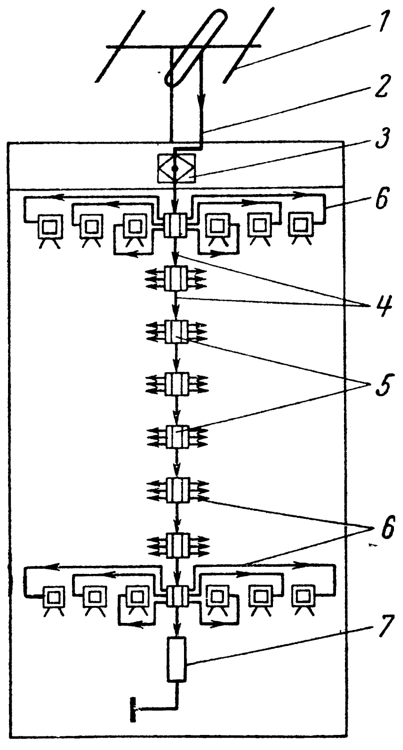


Рис. 52 Блок-схема простейшей телевизионной антенны коллективного пользования.

Таким образом, телевизионный сигнал последовательно проходит через все распредели-

тельные коробки, включенные в магистральную линию, что обеспечивает поступление мощности телевизионного сигнала к приемникам, расположенным в квартирах всех этажей. К выходу последней распределительной коробки, расположенной на первом этаже, подключено нагрузочнсе сопротивление 7, равное по величине волновому сопротивлению магистральной линии. В сопротивлении 7 поглощается остаточная часть мощности телевизионного сигнала, вследствие чего в магистральной линии создается режим бегущей волны. В этом режиме в магистральной линии отсутствуют отраженные волны, что исключает возможность частотных искажений телевизионного сигнала.

Оптимальные способы построения магистральных линий

При недостаточном уровне сигнала, поступающего к телевизионным приемникам, между наружной антенной и магистральной линией должен быть включен антенный усилитель, в связи с чем несколько снижается надежность работы телевизионной антенны коллективного пользования. Поэтому следует стремиться к увеличению площади города, обслуживаемой безусилительными телевизионными антеннами коллективного пользования. Увеличение радиуса действия безусилительных телевизионных антенн коллективного пользования может быть достигнуто повышением коэффициента усиления наружной антенны Однако для значительного повышения коэффициента усиления антенны нужно увеличить ее габариты и вес, что приводит в свою очередь к необходимости применения более сложных и дорогостоящих опор.

При этих обстоятельствах большое значение приобретает задача возможно более полного и рационального использования мощности, поступающей из антенны в магистральную линию. Рассмотрим существующие способы построения магистральных линий, позволяющие использовать безусилительные телевизионные антенны коллективного пользования на возможно большем расстоянии от телевизионного центра.

Одноступенчатые магистральные линии. Передача мощности телевизионного сигнала из магистральной линии к приемникам через абонентские линии определяется переходным затуханием $T_к$ распределительной коробки, равным отношению мощности сигнала в магистральной линии на входе коробки к мощности сигнала, ответвленной в абонентскую линию. Из соображений практического удобства в магистральных линиях обычно используются одинаковые распределительные коробки с одним и тем же переходным затуханием. Будем называть магистральные линии, состоящие из распределительных коробок с одинаковым переходным затуханием, одноступенчатыми (рис. 53, *а*).

По мере распространения телевизионного сигнала по одноступенчатой магистральной линии от одной распределительной коробки к другой уровень мощности в линии постепенно снижается за счет частичного отбора мощности в абонентские линии через распределительные коробки, а также за счет затухания сигнала в кабеле Чем дальше от начала линии расположена распределительная коробка, тем меньше мощность, поступающая на ее вход. Наименьшая мощность поступает на вход последней распределительной коробки. Следовательно, телевизионные приемники, подключенные к последней

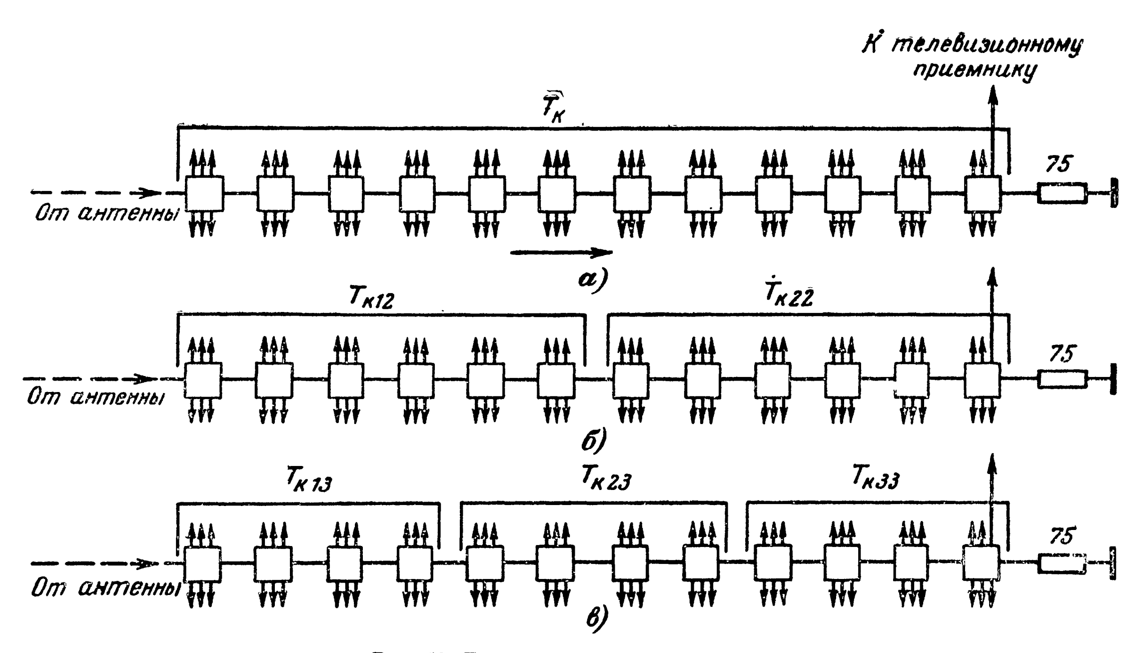


Рис. 53. Типы магистральных линий.

а — одноступенчатая; *б* — двухступенчатая; *в* — трехступенчатая.

распределительной коробке, оказываются в самых «невыгодных» условиях, так как мощность телевизионного сигнала, поступающая на каждый из этих приемников, меньше мощности, подводимой к приемникам, подключенным ко всем остальным распределительным коробкам.

Таким образом, необходимость включения антенного усилителя в телевизионную антенну коллективного пользования определяется в конечном счете тем, достаточен ли уровень мощности, поступающей на входные зажимы приемников, подключенных к последней распределительной коробке. В связи с этим необходимо рассмотреть вопрос о том, при какой величине переходного затухания распределительных коробок $T_к$ одноступенчатой линии мощность $P_{пр}$ на входных зажимах приемников, подключенных к последней распределительной коробке, будет достигать максимально возможного значения при заданной мощности $P_м$, поступающей из антенны в магистральную линию.

На первый взгляд, может показаться, что чем меньше переходное затухание $T_к$, т. е. чем сильнее связь абонентской линии с магистральной, тем больше мощность $P_{пр}$ на входе приемника. Однако это не так. Анализ работы одноступенчатой магистральной линии телевизионной антенны коллективного пользования показывает, что существует некоторая определенная величина переходного затухания $T_к$, при которой мощность $P_{пр}$ на входных зажимах приемников, подключенных к последней распределительной коробке, достигает максимально возможного значения $P_{пр\ макс}$. Это переходное затухание называют оптимальным ($T_{к.опт}$), а магистральную линию, состоящую из одинаковых распределительных коробок с оптимальным переходным затуханием, — оптимальной одноступенчатой магистральной линией.

Существование оптимальной (наивыгоднейшей) величины переходного затухания можно объяснить следующим образом. Если переходное затухание очень велико, то мощность $P_{пр}$ на входных зажимах приемников, подключенных к последней распределительной коробке, будет малой в связи с недостаточным отбором мощности из магистральной линии в абонентские через эту коробку. При уменьшении переходного затухания мощность $P_{пр}$ сначала возрастает. Однако дальнейшее уменьшение переходного затухания приводит к снижению мощности $P_{пр}$ поскольку резко возрастает отбор мощности в начале и в середине магистральной линии, в результате чего имеет место значительный спад мощности на входе последней распределительной коробки.

С энергетической точки зрения отклонение режима работы одноступенчатой магистральной линии от оптимального приводит к следующему: при $T_к > T_{к.опт}$ увеличивается бесполезный расход мощности сигнала в нагрузочном сопротивлении магистральной линии, при $T_к < T_{к\ опт}$ возникает значительный переизбыток мощности в абонентских линиях, расположенных в начале и в середине магистральной линии. В обоих случаях уменьшается мощность $P_{пр}$, поступающая к телевизионным приемникам, подключенным к последней распределительной коробке

Величина оптимального переходного затухания $T_{к.опт}$ зависит от общего числа телевизионных приемников n, на которое рассчитана магистральная линия, и может быть определена в децибелах по формуле

$$T_{к.опт}\,(\partial б) = 10 \lg n.$$

В практической конструкции распределительной коробки переходное затухание зависит от частоты, т. е. меняется от канала к каналу. Поэтому если подобрать конструктивные размеры элементов распределительной коробки таким образом, чтобы переходное затухание было равно оптимальному на каком-либо одном канале, то на других каналах оно будет несколько отличаться от оптимального. Это приводит к некоторому уменьшению напряжения на входе приемника по сравнению с максимально возможным.

Одноступенчатые магистральные линии, состоящие из одинаковых распределительных коробок с оптимальными переходными затуханиями, очень просты, удобны для монтажа и широко используются в практике работ по устройству телевизионных антенн коллективного пользования.

Многоступенчатые магистральные линии. Мощность $P_{пр}$ на входе телевизионного приемника, подключенного к последней распределительной коробке, можно несколько увеличить по сравнению со случаем использования одноступенчатой магистральной линии, если применить распределительные коробки не с одинаковыми, как в одноступенчатой линии, а с различными переходными затуханиями. Такая магистральная линия состоит из нескольких последовательно соединенных участков (ступеней). Все распределительные коробки одной и той же ступени имеют равные переходные затухания, а от ступени к ступени переходные затухания распределительных коробок меняются. Будем называть магистральные линии, состоящие из нескольких ступеней, многоступенчатыми.

Последовательность расположения ступеней многоступенчатой линии такова, что переходные затухания распределительных коробок убывают от начала магистральной линии (от антенны) к ее концу. Смысл такого расположения распределительных коробок состоит в следующем При использовании одноступенчатых магистральных линий, рассмотренных ранее, в абонентские линии, подключенные ближе к антенне, поступает избыточная мощность телевизионного сигнала, а в подключенные дальше от антенны — пониженная. Если же установить в начале магистральной линии распределительные коробки с увеличенным переходным затуханием, а в конце — с уменьшенным, то произойдет перераспределение мощности между абонентскими линиями, т. е. своего рода «перекачка» мощности из абонентских линий, ближних к антенне, в дальние. Это приводит к выравниванию уровней мощности в абонентских линиях и, в конечном счете, к увеличению уровня мощности на входе телевизионного приемника, подключенного к последней распределительной коробке.

Наилучшим вариантом многоступенчатой магистральной линии является такой, при котором в состав каждой ступени входит только одна распределительная коробка (число ступеней равно числу распределительных коробок). В такой линии каждая последующая коробка имеет переходное затухание, меньшее чем предыдущая, что приводит к почти полному выравниванию мощностей во всех абонентских линиях. Однако реализация этого способа построения магистральных линий связана с рядом трудностей в связи с необходимостью применения большого набора распределительных коробок с различными переходными затуханиями. Поэтому для практического использования представляют в основном интерес двухступенчатые и трехступенчатые магистральные линии, для построения которых нужны соответственно две или три разновидности распредели-

тельных коробок, отличающихся по величине переходного затухания.

Двухступенчатая магистральная линия (рис. 53, *б*) состоит из двух последовательно соединенных ступеней с одинаковым числом распределительных коробок в каждой. Все распределительные коробки первой ступени имеют одно и то же переходное затухание $T_{к12}$, второй — $T_{к22}$, причем $T_{к12} > T_{к22}$ (первый цифровой индекс обозначает порядковый номер ступени, считая от начала линии, второй — число ступеней). Трехступенчатая магистральная линия (рис. 53, *в*) состоит из трех последовательно соединенных ступеней с одинаковым числом распределительных коробок в каждой. Все распределительные коробки первой ступени имеют одно и то же переходное затухание $T_{к13}$, второй — $T_{к23}$, третий — $T_{к33}$, причем $T_{к13} > T_{к23} > T_{к33}$.

Таким образом, в обоих типах многоступенчатых магистральных линий в направлении от начала линии к ее концу происходит ступенчатое уменьшение переходных затуханий распределительных коробок (напомним, что уменьшению переходного затухания соответствует больший отвод мощности из магистральной линии в абонентскую). Это приводит к более равномерному, чем в одноступенчатой линии, распределению мощностей в абонентских линиях и к увеличению мощности на входных зажимах приемников, подключенных в конце магистральной линии.

Использование многоступенчатых магистральных линий дает возможность увеличить площадь города, обслуживаемую безусилительными телевизионными антеннами коллективного пользования. В случае применения двухступенчатых линий эта площадь может быть увеличена в среднем на 25—30%, трехступенчатых — на 40—50%.

Многоступенчатые линии целесообразно применять на границе зоны безусилительного приема с целью ее расширения. Вне этой зоны (в области слабого сигнала), где применение антенных усилителей все равно является неизбежным, а также внутри этой зоны (в области сильного сигнала) следует использовать более простые одноступенчатые линии.

Краткая характеристика узлов телевизионных антенн коллективного пользования

Антенны. При устройстве телевизионных антенн коллективного пользования применяются многоэлементные антенны АТВК типа «волновой канал» Разновидности этих антенн и их коэффициенты усиления указаны в табл. 14. В диапазоне частот 48,5 — 100 *Мгц* (каналы 1—5) используются одноканальные и многоканальные антенны, в диапазоне частот 174—230 *Мгц* (каналы 6—12) — одноканальные и диапазонные Когда телевизионное вещание ведется на каналах обоих указанных диапазонов частот, на мачте устанавливают две антенны, причем антенну диапазона 174—230 *Мгц* располагают выше антенны диапазона 48,5—100 *Мгц*. Расстояние антенны диапазона 48,5—100 *Мгц* от кровли — не менее 3,5 *м*, разнос между антеннами — не менее 1,2 *м*.

Распределительные коробки. Для ответвления мощности телевизионного сигнала из магистральной линии в абонентские применяются распределительные коробки КРТ-6, работающие на всех каналах метровых волн с 1-го по 12-й. Каждая коробка рассчитана на подключение шести приемников. Коробка КРТ-6 построена по принципу

направленного ответвления мощности, который широко используется в технике высоких и сверхвысоких частот. Благодаря направленным свойствам коробки КРТ-6 обеспечивается защита телевизионных приемников от отраженных волн, которые могут появиться в магистральной линии вследствие обрыва или короткого замыкания

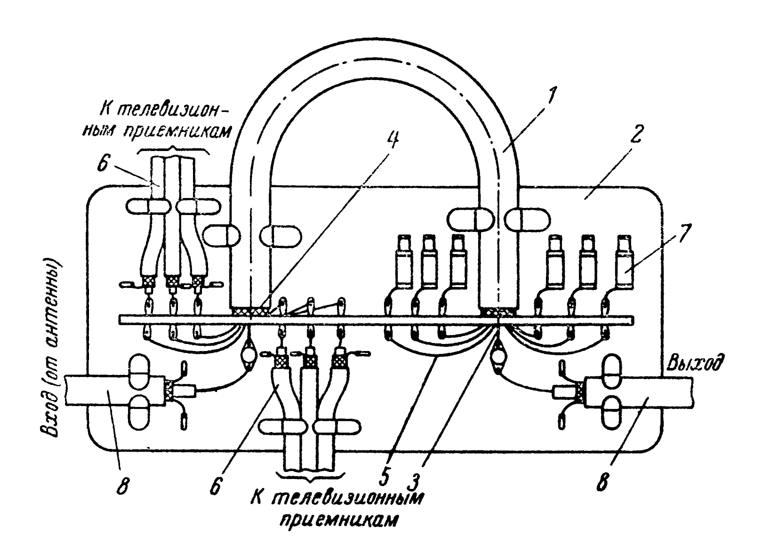


Рис. 54. Распределительная коробка КРТ-6 (крышка снята) с подключенной магистральной и абонентскими линиями.

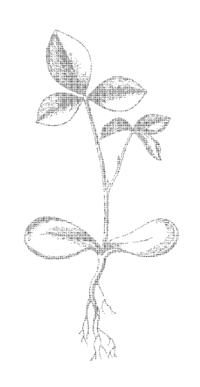
1 — коаксиальный направленный ответвитель на 6 отводов; 2 — металлическое основание. 3 — центральный проводник направленного ответвителя; 4 — экран (металлическая оплетка) направленного ответвителя; 5 — периферийные проводники, 6 — абонентские линии (кабели с волновым сопротивлением 75 *ом*); 7 — нагрузочные сопротивления линий ответвления 75 *ом*; 8 — магистральная линия.

на ее конце. Кроме того, обеспечивается высокая степень развязки между приемниками, что исключает попадание излучения гетеродина одного приемника на вход другого через кабельную сеть.

Переходное затухание $T_к$ коробки КРТ-6 зависит от частоты. Оно меняется от 17 *дб* на 12-м канале до 25 *дб* на 1-м канале. Это затухание близко к оптимальному для одноступенчатых магистральных линий, рассчитанных на 50—100 приемников

Конструкция коробки КРТ-6 показана на рис. 54.

Для заметок



Глава 8

КАК ОБОРУДОВАТЬ ТЕЛЕВИЗИОННУЮ АНТЕННУ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В НЕБОЛЬШОМ ЗДАНИИ В СЕЛЬСКОЙ И ПРИГОРОДНОЙ МЕСТНОСТИ

Для приема телевизионных передач в небольших зданиях в сельской и пригородной местности могут быть успешно использованы, так же как и в многоквартирных городских зданиях, телевизионные антенны коллективного пользования, заменяющие несколько индивидуальных антенн. Такие антенны целесообразно оборудовать в сельских клубах, гостиницах, общежитиях и т. д. Используя то обстоятельство, что число телевизионных приемников в зданиях указанного типа, как правило, невелико (до 6—8), можно построить распределительную сеть таким образом, что будет обеспечен качественный прием телевизионных передач без антенных усилителей на весьма больших расстояниях от телецентра.

Принцип действия и блок-схемы

Схема распределительной сети телевизионной антенны коллективного пользования на небольшое число приемников строится по принципу параллельного деления мощности принятого антенной сигнала. Это обеспечивает практически полное использование всей мощности, принятой антенной, и ее равномерное распределение между приемниками.

На рис. 55 показаны блок-схемы телевизионных антенн коллективного пользования на 2, 4, 6 и 8 приемников. Рассмотрим для примера работу схем на 2 и 4 приемника. Схема на 2 приемника (рис. 55, *а*) работает следующим образом. Телевизионный сигнал, принятый антенной, установленной на крыше здания или рядом со зданием на высокой мачте, поступает по кабелю снижения на вход делителя мощности *Д*. В делителе мощность сигнала *P* разделяется на две равные части. Половина мощности поступает по кабелю на вход одного приемника, половина — на вход другого. В схеме на 4 приемника (рис. 55, *б*) принятый антенной сигнал поступает по кабелю снижения на вход делителя $Д_1$. С одного выхода этого делителя половина мощности поступает на вход делителя $Д_2$, с другого — на вход делителя $Д_3$. В каждом из делителей $Д_2$ и $Д_3$ мощность сигнала повторно делится на две равные части и передается по кабелям к телевизионным приемникам. Следовательно, в схеме на 4 приемника на вход каждого попадает четверть мощности сигнала, принятого антенной. Схемы на 6 и 8 приемников работают аналогично, с той лишь разницей, что в схеме на 6 приемников на вход двух средних приемников попадает мощность несколько большей величины, чем на остальные.

Соединение делителей между собой, а также подключение приемников производится любым коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 75 *ом*, например, кабелями РК-75-4-15 (РК-1), РК-75-4-11 (РК-101), РК-75-9-12 (РК-3), РК-75-9-13 (РК-103). Погонные затухания этих кабелей β в децибелах на метр приведены

в приложении. Длина соединительных кабелей может быть произвольной.

Зная напряженность поля в месте приема, коэффициент усиления применяемой антенны, тип и длину кабеля от антенны до приемника, можно рассчитать напряжение на входе приемника для каждой из четырех схем телевизионных антенн коллективного пользования, изображенных на рис. 55.

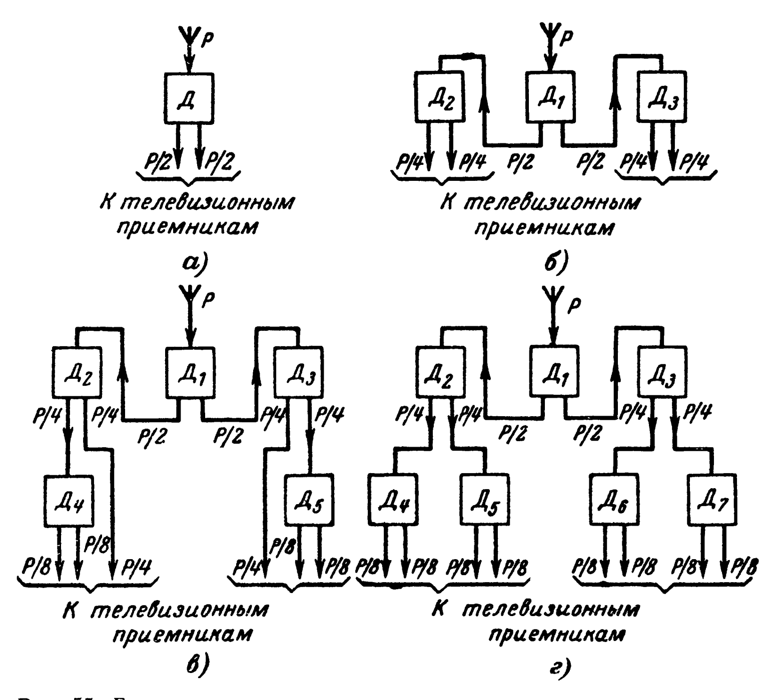


Рис. 55. Блок-схемы телевизионных антенн коллективного пользования на несколько приемников.

а — на 2 приемника; *б* — на 4 приемника; *в* — на 6 приемников; *г* — на 8 приемников.

Расчет напряжения на входе приемника $U_{\text{пр}}$ в милливольтах производится по следующим формулам:

а) при подключении 2 приемников (рис. 55, *а*)

$$U_{\text{пр}} = \frac{E h_{\text{д}} K_u}{2\sqrt{2}\,T}, \ \textit{мв};$$

б) при подключении 4 приемников (рис. 55, *б*)

$$U_{\text{пр}} = \frac{E h_{\text{д}} K_u}{4T}, \ \textit{мв};$$

в) при подключении 6 и 8 приемников (рис. 55, *в, г*)

$$U_{\text{пр}} = \frac{E h_{\text{д}} K_u}{4\sqrt{2}\,T}, \ \textit{мв};$$

здесь E — напряженность поля на несущей частоте изображения в *мв/м*; $h_{\text{д}}$ — действующая длина антенны в метрах, определяемая по формуле $h_{\text{д}}=\lambda_{\text{из}}/\pi$, где $\lambda_{\text{из}}$ — длина волны в метрах, соответствующая несущей частоте изображения, $\pi=3{,}14$; K_u — коэффициент усиления антенны «в разах» по напряжению; T — ослабление сигнала в кабеле «в разах» по напряжению.

Пример. Определить напряжение на входе приемника, подключенного к телевизионной антенне коллективного пользования на 8 приемников по схеме рис. 55, *г* при следующих исходных данных. Телевизионное вещание в месте приема ведется на 3-м канале. Напряженность поля на несущей частоте изображения 1,5 *мв/м*. Длина кабеля типа РК-75-4-15 (РК-1) 25 *м*. Для приема используется пятиэлементная антенна «волновой канал» с коэффициентом усиления 8 *дб*.

1. Определяем действующую длину антенны $h_{\text{д}}$ в метрах:

$$h_{\text{д}} = \frac{\lambda_{\text{из}}}{\pi} = \frac{3{,}9}{3{,}14} = 1{,}24 \ \textit{м}.$$

2. Определяем коэффициент усиления антенны «в разах» по напряжению, исходя из заданного коэффициента усиления в децибелах:

$$\lg K_u = \frac{K\,(\textit{дб})}{20} = \frac{8}{20} = 0{,}4; \ K_u = 2{,}5.$$

3. Определяем затухание в кабеле в децибелах:

$$T\,(\textit{дб}) = \beta l = 0{,}094\cdot 25 = 2{,}4 \ \textit{дб},$$

где β—погонное затухание в кабеле РК-75-4-15 (РК-1), равное для 3-го канала 0,094 *дб/м*; l — длина кабеля в метрах.

4. Исходя из найденной величины затухания в децибелах, определяем ослабление сигнала в кабеле T «в разах» по напряжению:

$$\lg T = \frac{T\,(\textit{дб})}{20} = \frac{2{,}4}{20} = 0{,}12; \ T = 1{,}32.$$

5. Определяем напряжение на входе приемника:

$$U_{\text{пр}} = \frac{E h_{\text{д}} K_u}{4\sqrt{2}\,T} = \frac{1{,}5\cdot 1{,}24\cdot 2{,}5}{4\cdot 1{,}4\cdot 1{,}32} = 0{,}63 \ \textit{мв}.$$

Величина напряжения, полученная в результате расчета, является достаточной для получения качественного изображения на экране телевизионного приемника.

Из приведенного примера, который является в известной мере типичным, можно сделать вывод, что телевизионная антенна коллективного пользования с числом приемником от 2 до 8, построенная по принципу параллельного деления мощности сигнала, может нормально работать без антенного усилителя при напряженности поля 1—2 *мв/м*. Такая напряженность поля соответствует в среднем

расстоянию 40—60 *км* от телецентра. В зависимости от мощности передатчика и рельефа местности дальность действия описанной телевизионной антенны коллективного пользования без антенного усилителя может быть несколько больше или меньше указанной.

Выбор типа наружной антенны и делителя мощности производится в соответствии с числом телевизионных каналов, работающих в месте приема. Если вещание в месте приема ведется на одном канале, то следует применить канальную направленную антенну (например, типа «волновой канал») и канальные делители мощности, если же на нескольких каналах — широкополосную антенну и широкополосные делители мощности. В случае приема на двух каналах можно также воспользоваться двумя раздельными канальными антеннами. Способ подключения двух раздельных антенн к широкополосному делителю мощности будет описан в разделе, посвященном делителю этого типа.

Канальный делитель мощности метровых волн на отрезках коаксиальных кабелей

Делители мощности, применяемые для построения распределительной сети, должны иметь хорошее согласование со стороны входа, обеспечивать равномерное деление мощности и электрическую развязку между выходами. Этим требованиям лучше всего удовлетворяют мостовые делители мощности (направленные ответвители с переходным затуханием 3 *дб*). Такие делители имеют весьма простую конструкцию и могут быть легко изготовлены.

На рис. 56 изображена схема и конструкция канального мостового делителя мощности метровых волн, предназначенного для работы в полосе частот одного телевизионного канала в диапазонах 48,5—100 *Мгц* (каналы 1—5) и 174—230 *Мгц* (каналы 6—12). Делитель состоит из четырех отрезков коаксиальных кабелей. Кабели 1 и 2 имеют волновое сопротивление 75 *ом* (РК-75-4-15, РК-75-4-11, РК-75-4-16 и т. д.), кабели 3 и 4 — 50 *ом* (РК-50-4-13, РК-50-2-11, РК-50-2-13 и т. д.). Входной, а также выходные кабели делителя имеют волновое сопротивление 75 *ом*. К точке соединения кабелей *1* и *4* подключено балластное сопротивление 75 *ом*. Длина *l* каждо-

Таблица 15

Длины кабелей канального делителя мощности

Телевизионные каналы	1	2	3	4	5	6
Длина кабеля *l*, *мм* . .	950	800	620	560	515	280

Продолжение табл. 15

Телевизионные каналы	7	8	9	10	11	12
Длина кабеля *l*, *мм* . .	270	260	250	240	230	220

го из кабелей составляет четверть длины волны в кабеле ($\lambda_к/4$) на средней частоте телевизионного канала. Длины кабелей для каждого из 12 каналов приведены в табл. 15.

Мостовой делитель мощности работает следующим образом. Мощность телевизионного сигнала, поступающего на вход делителя,

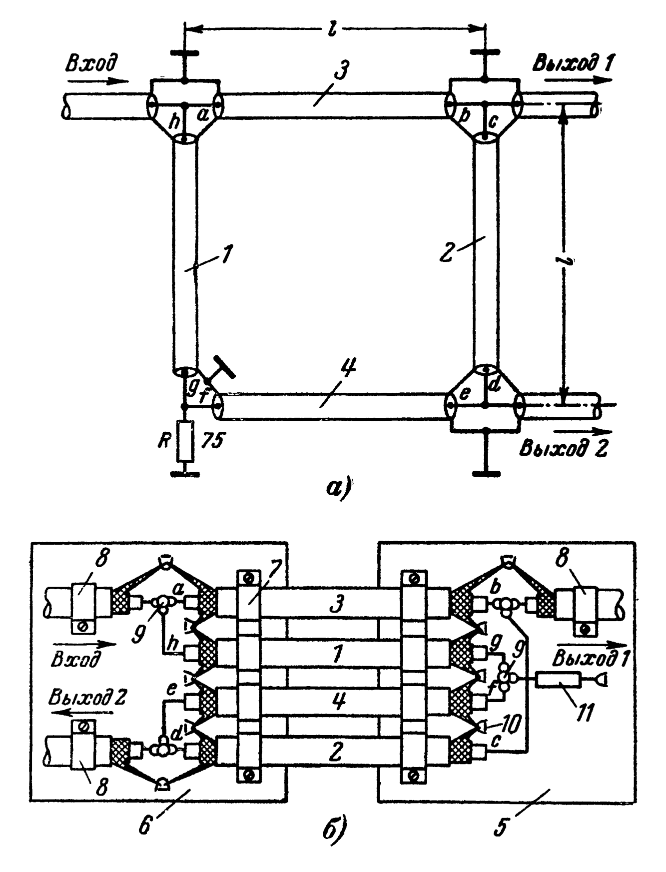


Рис. 56. Канальный мостовой делитель мощности метровых волн на отрезках коаксиальных кабелей.

а — схема кабельных соединений; *б* — вариант конструкции.

распределяется поровну между обоими выходами и поступает далее либо к приемникам (рис. 55, *а*), либо к последующим делителям (рис. 55, *б, в, г*). В балластном сопротивлении 75 *ом* мощность не расходуется, так как подводимые к нему сигналы равны по напряжению и противоположны по фазе (роль балластного сопротивления

будет пояснена далее). Выходы делителя взаимно развязаны, что исключает влияние режима работы одного выходного кабеля на режим другого. Это свойство делителя является особенно важным, поэтому рассмотрим его подробнее.

Представим себе, что один из двух выходных кабелей делителя подключен к телевизионному приемнику, а другой — не подключен. Первый кабель будем называть нагруженным, второй — ненагруженным. В конце ненагруженного кабеля, работающего в режиме холостого хода, возникает отраженная волна, которая, распространяясь по кабелю, попадает обратно на вход делителя. При этом мощность отраженной волны в нагруженный кабель через делитель попадать не будет. Половина мощности отраженной волны поглотится в балластном сопротивлении, которое играет роль поглотителя отраженной волны, другая половина попадет во входной кабель делителя и в конечном счете излучится антенной в пространство. Телевизионные приемники оказываются, таким образом, защищенными от отраженных волн, которые могут приводить к снижению четкости и появлению многоконтурности.

На рис. 56, *б* показан один из вариантов конструкции делителя. Для уменьшения габаритов делителя кабели *1*, *2* с волновым сопротивлением 75 *ом* и *3*, *4* с волновым сопротивлением 50 *ом* укладывают рядом параллельно друг другу и крепят к металлическим платам *5* и *6* скобами *7*. Входной и выходные кабели с волновым сопротивлением 75 *ом* крепят к этим же платам скобами *8*. Под скобы нужно подложить прокладки из прессшпана, картона или лакоткани. Внутренние проводники кабелей припаивают к лепесткам на изоляционных монтажных стойках *9*, а металлические оплетки, заплетенные в косички, — к земляным лепесткам *10*, вырубленным в платах или прикрепленным к ним При разделке концов кабелей нужно тщательно следить за тем, чтобы не надрезать внутренние проводники. Металлическую оплетку и внутренние проводники долго прогревать при пайке нельзя во избежание оплавления изоляции кабеля. После механической сборки и пайки следует тщательно проверить, не попал ли волосок металлической оплетки кабеля на его внутренний проводник, так как это приведет к короткому замыканию кабеля. При необходимости на металлические платы *5* и *6* можно надеть крышки, закрывающие места пайки кабелей. При изготовлении делителей на каналы с 1-го по 5-й длина отрезков кабелей получается относительно большой. Поэтому кабели целесообразно свернуть втрое. Собранный и смонтированный делитель можно на ушках повесить на стену.

Канальный делитель мощности метровых волн на сосредоточенных постоянных

При отсутствии кабеля с волновым сопротивлением 50 *ом*, необходимого для изготовления делителя по схеме рис. 56, *а*, канальный мостовой делитель мощности метровых волн можно выполнить на сосредоточенных постоянных *L* и *C*. Этот делитель весьма прост, компактен и по своим электрическим характеристикам почти не уступает делителю на отрезках кабелей. Схема делителя показана на рис 57.

В табл. 16 приведены данные элементов схемы рис. 57 для каждого из 12 телевизионных каналов.

Внешний вид делителя показан на рис. 58. Монтаж производится на металлической плате *1* размером 115×60 *мм*. В местах, показанных на рисунке, вырубаются скобы *2* для крепления кабелей и земляные лепестки *3*. Скобы и земляные лепестки можно также приклепать или завернуть винтами. При этом нужно проследить, чтобы земляные лепестки не проворачивались. Катушки наматываются на двух каркасах *4* из органического стекла — по две катушки (L_1 и L_2) на каждом каркасе. Диаметр каркаса 5 *мм*. Намотка сплошная проводом ПЭВ-1 диаметром 0,59 *мм*. Каркасы с катушками должны быть подняты над металлической платой на 10 *мм*. Расстояние между катушками 8 *мм*. Монтажные лепестки крепятся на стойках *5* из гетинакса, текстолита или органического стекла. Входной и выходные кабели закрепляются скобами *2*. Металлические оплетки кабелей собираются в «косички» и припаиваются к земляным лепесткам *3*. При монтаже нужно следить, чтобы волосок оплетки не попал на внутренний проводник кабеля. Конденсаторы — керамические трубчатые (КТ-1, КТ-2) или дисковые (КД-1, КД-2).

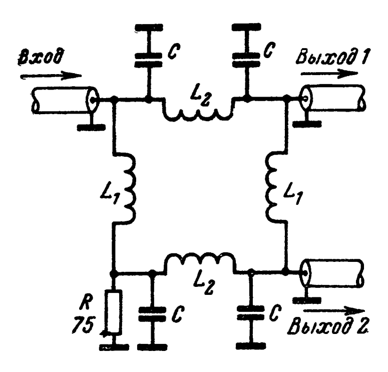


Рис. 57. Схема канального делителя мощности метровых волн на сосредоточенных постоянных.

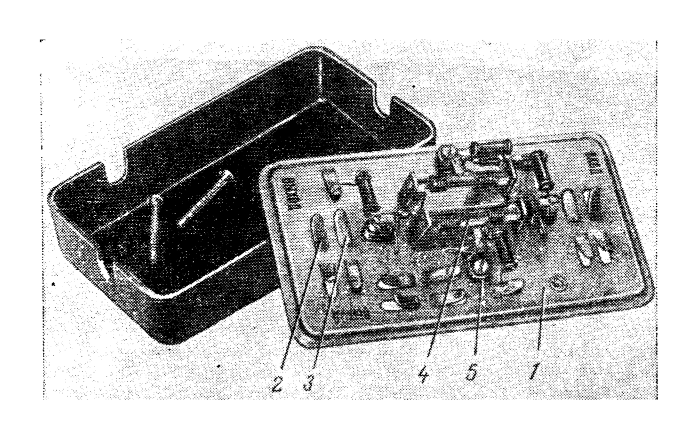


Рис. 58. Внешний вид канального делителя мощности метровых волн на сосредоточенных постоянных.

Таблица 16

Данные элементов канального делителя мощности на сосредоточенных постоянных

Телевизионные каналы	Катушки				Емкость конденсатора C, *пф*
	L_1		L_2		
	Индуктивность, *мкгн*	Число витков	Индуктивность, *мкгн*	Число витков	
1	0,29	6	0,21	5	80
2	0,24	5,5	0,18	4,5	66
3	0,19	5	0,14	4	51
4	0,17	4,5	0,13	3,5	46
5	0,15	4	0,11	3	42
6—7	0,08	2,5	0,06	2	22
8—9	0,07	2	0,05	1,5	20
10—12	0,06	2	0,04	1,5	18

Приложение

Погонное затухание кабелей РК-75-4-15 (РК-1), РК-75-4-11 (РК-101), РК-75-9-12 (РК-3), РК-75-9-13 (РК-103)

Телевизионные каналы	Погонное затухание β, *дб/м*			
	РК-75-4-15 (РК-1)	РК-75-4-11 (РК-101)	РК-75-9-12 (РК-3)	РК-75-9-13 (РК-103)
1	0,076	0,076	0,046	0,046
2	0,082	0,082	0,050	0,050
3	0,094	0,094	0,056	0,056
4	0,099	0,099	0,059	0,059
5	0,102	0,102	0,062	0,062
6	0,140	0,140	0,090	0,090
7	0,143	0,143	0,094	0,094
8	0,146	0,146	0,097	0,097
9	0,149	0,149	0,100	0,100
10	0,152	0,152	0,104	0,104
11	0,155	0,155	0,107	0,107
12	0,158	0,158	0,110	0,110

ЛИТЕРАТУРА

Кузнецов В. Д., Коллективная антенна для приема телевидения, «Радиотехника», 1952, т. 7, № 4.

Кузнецов В. Д., Система коллективного приема телевидения на 12 каналов, «Радиотехника», 1957, № 10.

Загик С. Е., Капчинский Л. М., Приемные телевизионные антенны, Госэнергоиздат, 1962.

Гинкин Г. Г., Логарифмы, децибелы, децилоги, Госэнергоиздат, 1962.

Антенные системы коллективного приема телевидения. Сборник под общим руководством В. Д. Кузнецова, «Связь», 1965.

Пистолькорс А. А., Антенны, Связьиздат, 1947.

Айзенберг Г. З., Антенны ультракоротких волн, Связьиздат, 1957.

Капчинский Л. М., Расчет многоступенчатых систем деления мощности, «Вопросы радиоэлектроники», серия IX, «Техника телевидения», 1960, вып. 2.

Долуханов М. П. Распространение радиоволн, Связьиздат, 1960.

Овчинников Н. И., Основы радиотехники, Военное издательство Министерства Обороны СССР, Москва, 1968.

Влияние метеорологических условий на распространение ультракоротких радиоволн, составитель М. В. Беляков, «Советское радио», 1948.

Элементарный учебник физики под редакцией акад. Г. С. Ландсберга, «Наука», 1966.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Капчинский Лев Михайлович

Телевизионные антенны

Редактор *Ю. Н. Рысев*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*
Технический редактор *О. Д. Кузнецова*
Корректор *З. Б. Шлайфер*

Сдано в набор 15/IV-1970 г. Подписано к печати 28/IX 1970 г. Т-15111.
Формат 84×108[1]/32 Бумага типографская №1. Усл. печ. л. 5,88 Уч.-изд. л. 7,59
Тираж 100 000 экз. Цена 33 коп. Заказ 497.

Издательство «Энергия». Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Владимирская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

Цена 33 коп.